

2019年度

大学院工学研究科修士論文概要集
理工学部／建築・環境学部卒業論文題目集



2019年度

大学院工学研究科修士論文概要集

理工学部／建築・環境学部卒業論文題目集

修士論文概要

- 小径玉軸受の損傷におよぼす外部振動の影響 浜 田ロベルト2
(アキシアル振動 2.5m/s^2 および 5.0m/s^2 の場合)
- 多相流マイクロ流体デバイスを用いた単分散金ナノ粒子の合成 王 遠 偉4
- しゅう動面のディンプルが平行平板軸受の流体潤滑特性におよぼす影響 岸 田 晃 直6
- 頸椎姿勢モニタリングシステムの基礎的設計開発 佐々木 彩 人8
(センサ信号処理の工夫およびモニタリングプログラムの開発)
- 微量油潤滑による軸受疲労寿命への影響の明確化 竹 下 優10
(回転数 8000min^{-1} およびアキシアル荷重 10N の場合)
- セルラーオートマトン法を用いたマイクロプラスト加工の 長 瀬 徳 孝12
3次元シミュレーション
- グリースの流動特性が転がり軸受のトルクにおよぼす影響 二 瓶 美 摘14
- ガラス製マイクロ流体デバイスを用いた銅ナノ粒子の合成 梁 毅 楊16
- 金属アシスト型スロット導波路センサの高感度化に関する研究 黒 沢 優 太18
- 自動運転システム開発に向けた運転シナリオ生成とシミュレーション 小 池 茜20
- スマートメーターAルートを活用した熱中症予防システムの開発 佐々木 直 輝22
- モード分割多重伝送のための2モード対応ビームスプリッタに関する研究 森 琢 磨24
- 高レートパルス状電気刺激によるニューロンモデルでの閾下刺激の伝達強化 森 亮 介26
- RELIGIOUS AND MULTIFAITH ARCHITECTURE イクラ サリーム28
-Comparison and Elemental study of Religious and Multifaith Architecture-
- ALC鉄骨造の低層住宅における排水システムの排水性能評価と 大 場 涼 太30
設計手法に関する研究
- 横須賀市中心市街地の都市形成と防火建築帯による下町地区の整備 亀 井 泰 治32
(横須賀における耐火建築促進法の適用・三笠ビル建設を例に)
- 節水形トイレユニットと簡易横枝通気を併用した 佐 藤 奨 悟34
中小規模オフィスビル対応の排水システムの提案とその可能性
- 横浜駅バスターミナルの研究 スリースマン 洋マイケル36
(バスターミナルの運用形式・建物形状・空間構成についての研究)
- 喫煙空間内空気環境改善を目的とした 中 平 光 俊38
縦旋回流型換気システム導入に関する研究
- 韓国、ソウル市内の公共空間における人々の活動と空間の構成に関する研究 花 城 輝40
(ソウル広場、光化門広場、ソウル駅前広場の人の居方を中心とした考察)
- ウインドキャッチャー設置による通風量増加効果の予測手法に関する研究 平 本 透 也42
- 沈下抑制を目的とした人工干潟における 金 子 豪44
法留潜堤構造に関する模型実験と数値解析

● Flexural behavior of concrete beam reinforced with steel bar, bamboo and continuous fiber rope	NGUYEN DUY PHONG	46
● 腐食損傷した鋼製橋脚の地震時耐荷性状に関する解析的研究	河野 洋 佑	48
● 複数回連続強震による補剛・無補剛鋼製橋脚の耐力低下に関する解析的研究	須藤 遼	50
● 確率的低気圧モデルを用いた高潮の再現確率の推定	瀬田 幸 司	52
● 周期的変動成分が構造物の対風挙動に及ぼす影響について	藤井 達 也	54
● 室温プロセスを用いた金ナノ粒子の合成と評価	高田 あかり	56
● 水道水源における農薬の検出状況と浄水処理性	甘利 潤 樹	58
● ポリカプロラクトンジオールと種々のイソシアネート類からの重付加反応	栗ヶ窪 洋 輔	60
● 高耐食性を有する無電解Ni-Sn-Pめっきの開発	石川 駿	62
● 竹繊維添加ABS樹脂へのめっき評価および環境影響評価	大井 康 寛	64
● 植物由来のクルクミンを用いた新規な材料の合成	大谷 拓 馬	66
● 非水溶媒を用いたアルミニウム電析における金属塩化物の微量添加効果	緒方 瞭	68
● めっき皮膜と抗菌効果の関係	須郷 美智子	70
● FLAを用いた各種樹脂フィルム上銅めっき皮膜の新アニーリング法	崔 炳 在	72
● 白色腐朽菌 <i>Hypsizygus marmoreus</i> によるゴム分解に関わる酵素群の探索	中島 太 郎	74
● 残光蛍光体および色素複合残光蛍光体の作製とその発光特性	半田 隼 大	76
● 植物由来原料のヒマシ油を用いた新規エラストマー材料の合成およびその性質	松野 皓 斗	78
● SrAl ₂ O ₄ およびSr ₂ MgSi ₂ O ₇ 長残光蛍光体の残光特性	村山 優 奈	80
● 微細藻類 <i>Chlorococcum littorale</i> 培養系による油分生産と回収	柳山 海 理	82
● 二輪車用死角確認システムに関する研究	今村 知 磨	84
● 深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測システム	前嶋 恵 輔	86

卒業論文題目

理工学部理工学科生命学系	90
理工学部理工学科数物学系	91
理工学部理工学科化学学系	92
理工学部理工学科機械学系	94
理工学部理工学科電気学系	96
理工学部理工学科情報学系	97
理工学部理工学科土木学系	100
建築・環境学部建築・環境学科	101

大学院工学研究科

修 士 論 文 概 要

(2020年3月修了)

小径玉軸受の損傷におよぼす外部振動の影響 (アキシアル振動 2.5m/s² および 5.0m/s² の場合)

機械工学専攻 浜田 ロベルト
指導教授 金田 徹

1 はじめに

転がり軸受は、産業機械、自動車などの部品として使用環境が多岐にわたって用いられている。その中には、振動している環境下で用いられていることもある。一般に、転がり軸受の寿命は、転がり軸受の疲労寿命計算式を使用して計算されており、外部振動の有無によって軸受の寿命が短くなることが知られている。軸受が外部振動を受けたときには、疲労寿命は荷重係数を掛けることによって補正する。この係数は、3つの大まかなカテゴリによって定義されている。しかし、この係数はあくまで経験的に決められているものであり、そこから求めた寿命の信頼性は高くない¹⁾。そこで本研究では、外部振動加速度と振動周波数を変更し、小径玉軸受の耐久試験をおこなった。そして、外部振動の振幅と周波数が疲労寿命におよぼす影響を定量的に明らかにした。

2 小径玉軸受の寿命計算式

基本定格寿命とは、一群の同じ軸受を同一条件で個々に回転させたとき、その90% (信頼度90%) が転がり疲れによるはく離 (フレーキング) を生じることなく回転できる総回転時間と定義づけている。基本定格寿命は式(1)で表される¹⁾。

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P \cdot f_w} \right)^p \quad (1)$$

ここで、 L_{10h} は基本定格寿命 (h)、 C は基本動定格荷重 (N)、 P は動等価荷重 (N)、 n は回転速度 (min^{-1})、 f_w は荷重補正係数、 p について、玉軸受の場合は $p=3$ 、ころ軸受の場合は $p=10/3$ である。

3 実験装置と実験条件

本研究では、小径玉軸受の耐久試験装置を3台使用した。実験装置の概略を図1に示す。試験軸受は、グリース潤滑をされている小径玉軸受 608VV を使用した。外部振動を与える機構としては、偏心プーリを加振用モータの主軸に取り付けて回転させることで、アキシアル方向に外部振動を与えることができる。測定項目は、試験軸受ハウジングに取り付けられている加速度ピックアップと熱電対とで、それ

ぞれ試験軸受のラジアル方向の振動加速度と軸受外輪温度の測定をおこない、データロガーでサンプリング周期 (1min) ごとにデータを記録した。実験条件と試験軸受に与えた外部振動の振動条件を表1および表2に示す。過去の研究²⁾における振動条件は、転動体の公転周波数である 24.75Hz であったが、本実験では、その値の上下の振動周波数で、小径玉軸受の疲労寿命試験をおこなった。

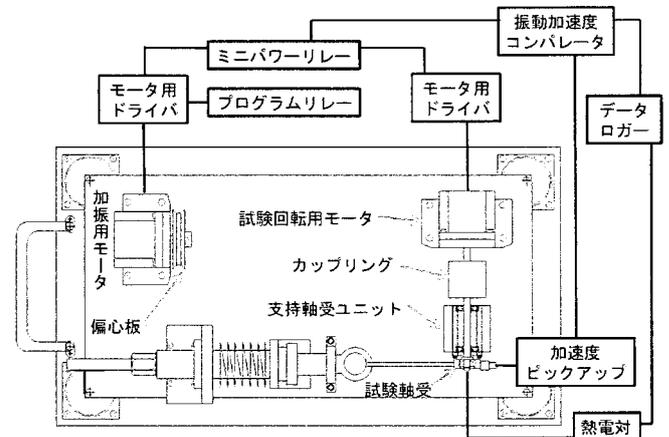


図1 実験装置の概略および接続状態

表1 実験条件

試験軸受	608VV
試験用モータの回転数 (min^{-1})	4000
ラジアル荷重 (N)	660 (基本動定格荷重の20%)
試験個数	各条件につき9個
基本定格寿命 (h)	521
試験時間 (h)	1560 (521×3)

表2 振動条件

振動方向	アキシアル方向
外部振動加速 (m/s^2)	2.5 5.0
加振周波数 (Hz)	18.56 24.75 (過去の研究 ²⁾ より) 37.13 49.50

4 実験結果および考察

試験軸受に加振周波数 49.50Hz を与えた場合の振動加速度の変化を図 2 に示す。このグラフより振動加速度は、時間の経過とともに振動加速度の上昇していることがわかる。試験後の試験軸受内輪転走面の一例を図 3 に示す。すべての試験軸受で走行跡が観察されたが、はく離などの異常は見られなかった。本研究で用いた振動条件の範囲において、振動が発生しても軸受の実用化に影響を与えるような損傷は生じないと判断できる。

次に、各加振周波数における振動加速度の変化量を比較する。試験開始時の 0 時間から 2 時間後までの振動加速度の平均値を初期振動加速度 G_i 、また、試験終了時から 2 時間前までの振動加速度の平均値を最終振動加速度 G_f とおく。さらに、その差 ($G_f - G_i = \Delta Acc$) を振動加速度の上昇量 ΔAcc として、各振動条件における ΔAcc を図 4 に示す。これらの結果から、試験軸受に加わる振動の周波数が高いほど試験用軸受の振動加速度の上昇量が大きくなること

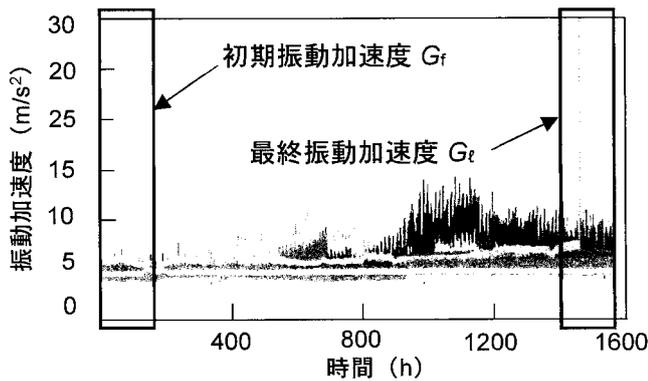


図 2 振動加速度の変化 (2.5m/s², 49.5Hz)

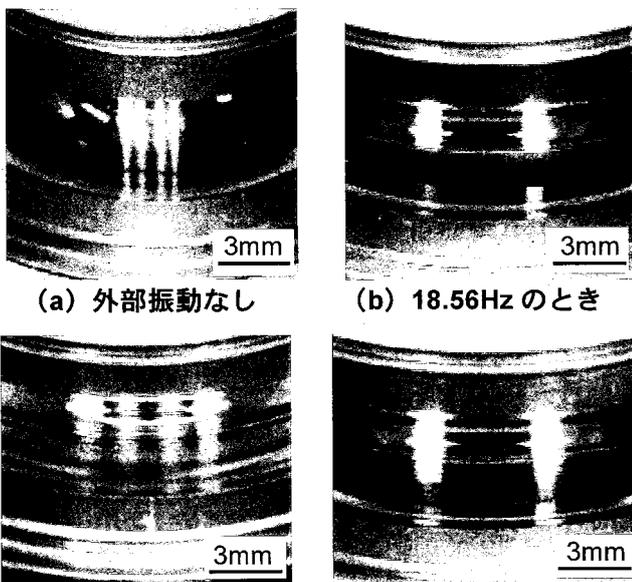
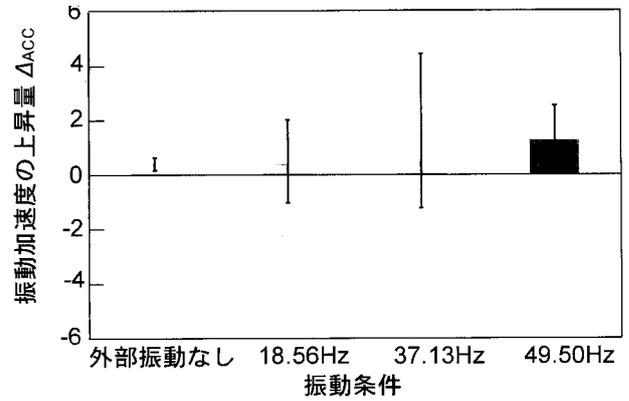
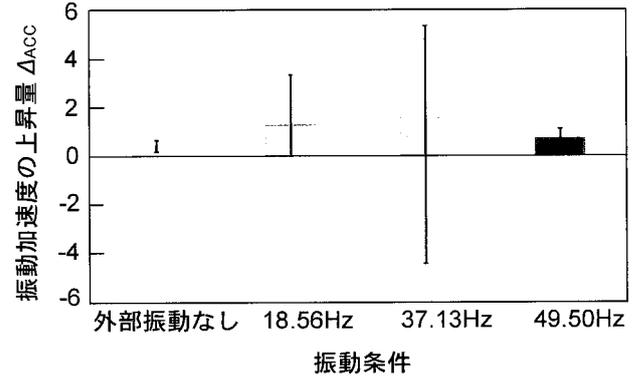


図 3 内部表面観察結果の一例 (2.5m/s² のとき)



(a) 外部振動加速度 2.5m/s² の場合



(b) 外部振動加速度 5.0m/s² の場合

図 4 振動加速度の上昇量と各振動条件の関係

5 おわりに

小径玉軸受 608VV を試験軸受として、外部振動周波数が 18.56Hz, 37.13Hz および 49.50Hz, 外部振動加速度が 2.5m/s² および 5.0m/s² のアキシアル方向外部振動をそれぞれ与えた寿命試験をおこなうことにより、小径玉軸受におよぼす影響を評価した結果を以下にまとめる。

- (1) 試験軸受の振動加速度の急激な上昇は起こらないが、試験終了時に近づくにつれて振動加速度の上昇傾向がみられた。加振周波数 49.50Hz では、1 つの試験軸受 6 が 1200 時間を経過したところで振動値が上昇し、回転が停止した。
- (2) すべての振動条件で、軸受転走面に異常はみられなかった。
- (3) 外部振動周波数の値が大きくなると、試験軸受の振動加速度の値が上昇した。

参考文献

- 1) 日本精工株式会社：テクニカルレポート、(1991), pp.18-32.
- 2) 野口昭治, 金田徹, 宮永宜典, 堀田智哉, 浅田誠司：小型玉軸受の損傷に及ぼすラジアル方向外部振動の影響 (第 1 報, 10m/s² までのラジアル振動を与えた場合), JSDE 設計工学 (J-STAGE), 52 巻, 4 号 (2016 年 11 月 15 日), pp.2-8.

多相流マイクロ流体デバイスを用いた単分散金ナノ粒子の合成

機械工学専攻 王 遠偉
指導教授 柳生 裕聖

1 はじめに

金ナノ粒子はプラズモン共鳴により可視光領域に特異な光吸収を有する。この光吸収スペクトルはナノ粒子の粒度分布により変化するため、この吸収特性をバイオセンサなどに応用するためには、粒子径の均一な単分散金ナノ粒子が必要となる。

上記のような金ナノ粒子は液相還元法により合成可能であり、その合成メカニズムは Lamer 図によると、(I) 幼核の形成、(II) 核生成、(III) 核成長に分類される。単分散金ナノ粒子を得るためには核成長が開始する前に試薬を分子レベルでの混合が必要であり、単分散金ナノ粒子を合成するための最適な混合時間（最適混合時間） T_c が存在すると考えられているため、マイクロ流体デバイスを用いた液相還元法による金ナノ粒子の合成と合成メカニズムの解析が検討されている。

この研究では 2 相流デバイスを用いて図 1 (a) のように流路内で 2 種類による 2 相流を形成し拡散混合により金ナノ粒子を合成している。さらに合成された金ナノ粒子の粒度分布は試薬の流量に依存し、流量 0.03mL/min のとき単分散金ナノ粒子が合成可能であり、最適混合時間 T_c は 1.7s であることが明らかとなっている。しかし、単分散ナノ粒子を合成するためには比較的低流量で合成する必要がある。

本研究では試薬の拡散混合時間を短縮するため図 1 (b) のように流路内に 4 相流が形成できるマイクロ流体デバイス（4 相流デバイス）を用いた単分散金ナノ粒子の合成を検討する。

2 実験方法

2.1 デバイス作製

図 2 に作製した 4 相流マイクロ流体デバイスを示す。本研究で使用する Y 字型流路を有するガラス製マイクロ流体デバイスはスライドガラスのマイクロプラスト加工と熱圧着法により作製した²⁾。作製したマイクロ流体デバイスの流路幅は 260 μ m、深さは 70 μ m である。4 相流マイクロ流体デバイスの 4 つの入口から 2 種類の溶液をマイクロ流路内に送液した。本研究では外側の 2 層（入口 1, 4）と内側の 2 層（入口 2, 3）と定義する。

2.2 金ナノ粒子の合成

図 3 に本研究で使用した実験装置を示す。5mL の水溶液 A と 5mL の水溶液 B を 4 本のシリンジから 2 台のシリンジポンプを使用して入口から送液し、出口

から合成された金ナノ粒子をガラス瓶に回収した。水溶液 A は塩化金酸 (III) 四水和物水溶液 (0.372mM) であり、水溶液 B は 4g のクエン酸三ナトリウム水溶液 (38.7mM)、0.1g のタンニン酸水溶液 (5.87mM) と 75.9g の蒸留水を混合した水溶液である。

本研究では 4 相ですべての流量を一定と内側の 2 層の流量を 0.050mL/min に固定し、外側の 2 層の流量を変量して合成実験を実施した。

また本研究ではナノ粒子合成プロセスにおける粒成長より前の混合状態に注目しており、合成した金ナノ粒子の粒度分布を定量的に評価するために、合成後に室温で 1 週間放置し、可視光吸収スペクトルを測定した。

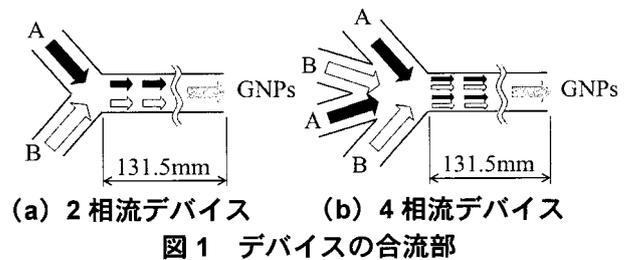


図 1 デバイスの合流部

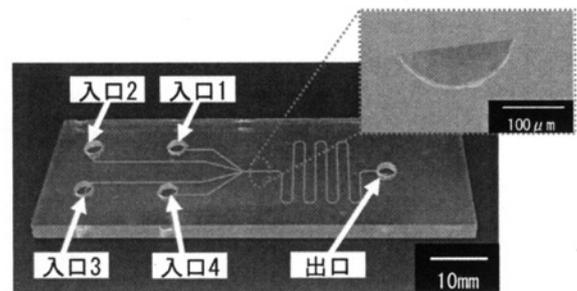


図 2 4 相流マイクロ流体デバイス

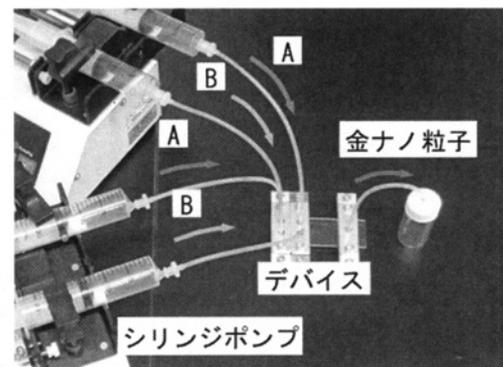


図 3 実験装置

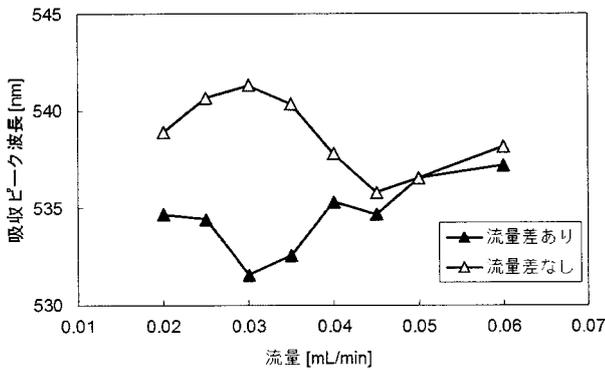


図4 吸収ピーク波長と流量の関係

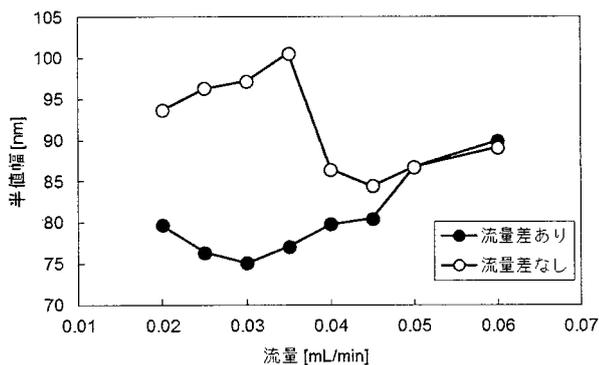


図5 吸収ピークの半値幅と流量の関係

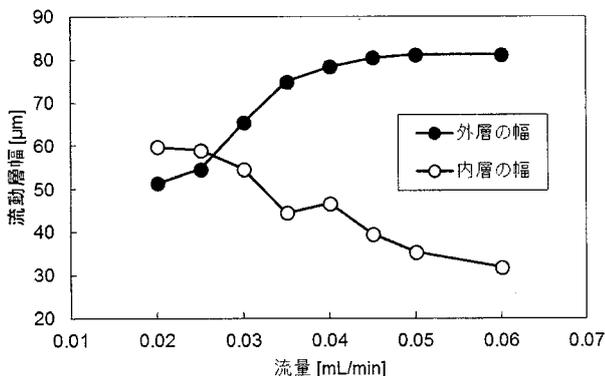


図6 流動層幅と流量の関係

3 実験結果

金ナノ粒子は可視光吸収スペクトルの波長 530nm 付近にプラズモン共鳴吸収ピークを有する。この吸収ピークの半値幅が小さい場合は粒度分布が狭くなり、吸収ピーク波長が大きい場合は、平均粒子径が大きくなる。

4 相流デバイスですべての流量を同じ値に設定した場合（流量差なし）、流量 0.050mL/min のとき半値幅が最小値なり、単分散ナノ粒子が合成できるデバイス内の混合時間である最適混合時間 T_m は 2 相流デバイスの約 65% の 0.6s となった。しかし、半値幅の値は 2 相流デバイスよりも大きいため、粒度分布が増加した。このことはデバイスの流路の断面形状は半円形（図 2）であるため流路内の各流動層幅は、外側の流動層が内

側より大きくなり、混合時の溶液の拡散距離にバラツキが生じることが原因と考えられる。

図 4 に吸収ピーク波長と流量の関係を示す。流量差が無い場合の合成では入口 1~4 の流量、流量差がある場合の合成では入口 1, 4（外層）の流量を示している。流量差がある場合の合成では、外層の流量が 0.030mL/min のとき、吸収ピーク波長が最小値（531.6nm）を示した。

図 5 に吸収ピークの半値幅と流量の関係を示す。外層の流量が 0.025~0.030mL/min のとき、半値幅が減少し、半値幅の値は外層の流量が 0.030mL/min のとき、最小値（75.1nm）を示した。なお、2 相流マイクロ流体デバイスで合成した場合、半値幅は流量 0.050mL/min で最小値（79.2nm）となる。

図 6 に流動層幅と流量の関係を示す。流動層幅は青インク水溶液と赤インク水溶液を合成時と同様の方法でデバイス内に送液し、Y 字流路部をマイクロSCOPEで観察することにより解析した。外層の流量の増加により外側の流動層幅は増加、内側（入口 2, 3）の流動層幅は減少し、外層の流量が 0.025mL/min 付近で 4 つの流動層幅が均一となることを確認できる。

以上のことから、4 相流マイクロ流体デバイスの 4 個の試薬の入口の流量差の調整により、合成される金ナノ粒子の粒度分布を制御可能であり、4 相の流動層幅を均一にすることによって、高効率に単分散金ナノ粒子が合成可能であることが確認された。

4 おわりに

半円形断面形状の流路を有するマイクロ流体デバイスを用いた金ナノ粒子における試薬入口の流量差の影響を確認した。合成した金ナノ粒子は流量差がない場合半値幅は流量 0.050mL/min のとき最小値を示した。流量差がある場合半値幅は外層の流量が 0.030mL/min のときに最小値を示すことが確認された。このことから 4 相流マイクロ流体デバイスの流量差を制御することにより、2 相流マイクロ流体デバイスで合成したときと同程度の粒度分布を有する単分散金ナノ粒子を高効率に合成ができることが明らかとなった。

参考文献

- 1) H. Yagyu, Y. Tanabe, S. Takano, M. Hamamoto: Liquid-phase Reduction Synthesis of Mono-dispersed Gold Nano-particles on Glass Micro-fluidic Device with Flow Rate Control, *Micro & Nano Lett.*, 12 (2017), pp. 536-539
- 2) H. Yagyu, K. Sugano, S. Hayashi, and O. Tabata: Micro-powder Blasting with Nano-particles Dispersed Polymer Mask for Rapid Prototyping of Glass Chip, *J. Micromech. Microeng.*, 15 (2005), pp.1236-1241.

しゅう動面のディンプルが平行平板軸受の 流体潤滑特性におよぼす影響

機械工学専攻 岸田 晃直
指導教授 宮永 宜典

1 緒言

しゅう動面にディンプルを付与することで流体膜に圧力が発生し、油膜力を得ることができる。そのため、軸受の潤滑特性を改善するために、ディンプルを施した軸受についてのさまざまな研究が行われている^{1),2)}。ディンプルを有するしゅう動面の潤滑特性におよぼすパラメータの影響は、定量的には明らかではない。

本研究では、ディンプルを有する平行平板軸受の潤滑特性について、実験的に明らかにする。ディンプルの形状が、油膜力および摩擦トルクにおよぼす影響について考察する。また、ディンプル軸受のヒステリシスについて着目し、キャビテーション領域が油膜力にどのような影響をおよぼすかについて考察する。

2 ディンプル形状が平行平板軸受の流体潤滑特性におよぼす影響

2.1 実験装置および実験方法

実験装置概略図を図1に示す。実験装置は、コントローラ部、試験軸受部およびペルチェ装置によって構成されている。試験軸受部はエアベアリングによって支持されたガラスディスクと、オイルカップに固定された試験片から構成されている。なお、ガラスディスクを用いることで、しゅう動面を可視化することができる。

本実験では、ディンプルが加工されていないプレーン試験片、円形、扇型縦（しゅう動方向に対し縦長）および扇型横（しゅう動方向に対し横長）のディンプルが加工された試験片を用いた。なお、しゅう動部は外形42mm、内径24mmである。図2に3種類のディンプル形状の概略図を示す。ディンプルは36° 毎に計10個が施されており、いずれのディンプルの深さも約30 μm である。また、ディンプルの面積の総和は、しゅう動面の面積に対し30%になっている。

回転数 $n=0\sim 600\text{min}^{-1}$ 、膜厚さ $h=30\mu\text{m}$ で実験を行った。潤滑油には SAE30 を使い、ペルチェ装置によって潤滑油温度は 298K に保持した。なお、SAE30 の粘度は $0.22\text{Pa}\cdot\text{s}$ である。

2.2 実験結果および考察

各試験片における回転数と油膜力の関係を図3に示す。プレーン試験片の油膜力は、いずれの回転数でも零となった。またディンプル試験片の油膜力は、回転

数が上昇するに従って増加した。さらに、各ディンプルでの油膜力を比較すると、円形ディンプルが最も油膜力を発生した。

各試験片の回転数と摩擦トルクを関係を図4に示す。図よりプレーン試験片の実験値と理論線はよく一致した。またディンプルのある試験片では、プレーン試験片と比較し摩擦トルクが低くなった。さらに、3種類のディンプル形状で比較すると、円形ディンプルが最も摩擦低減に効果があった。

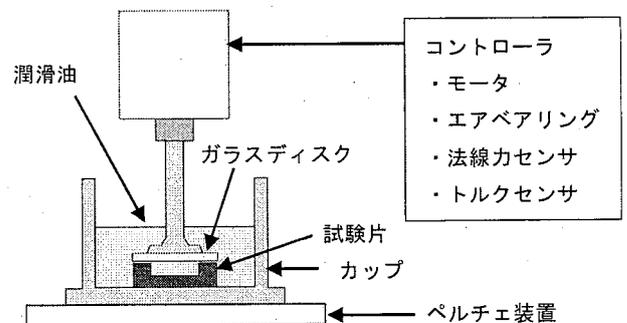


図1 実験装置概略図

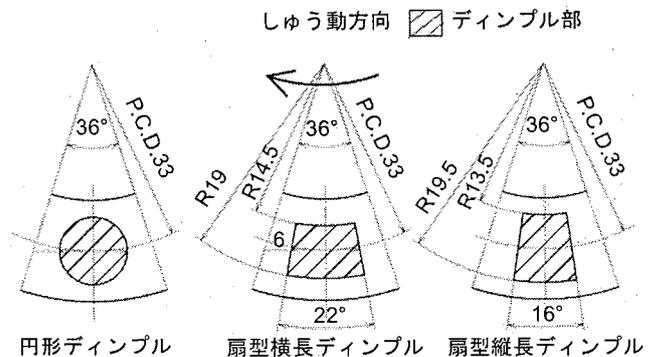


図2 ディンプル形状

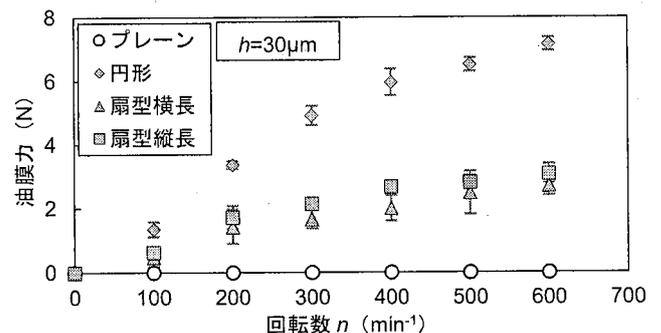


図3 各試験片における回転数と油膜力の関係

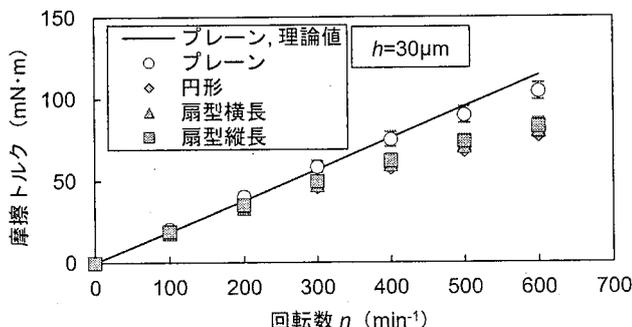


図4 各試験片における回転数と摩擦トルクの関係

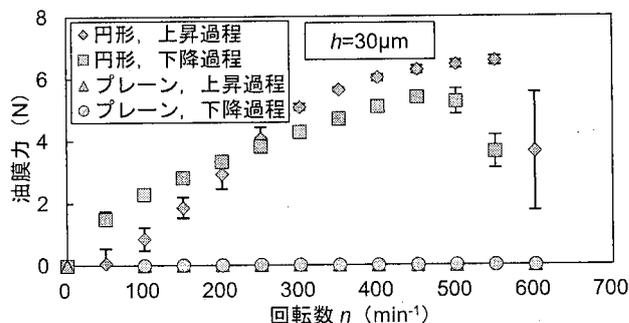


図5 各回転数における油膜力

3 膜厚さ一定条件における油膜力および摩擦トルク のヒステリシスの影響

3.1 実験装置および実験方法

実験装置には図1と同一のものをを用い、試験片にはプレーン試験片および円形ディンプル試験片を用いた。本実験では、回転数を 50min^{-1} のステップで 0min^{-1} から 600min^{-1} まで連続的に上昇させた後に、 0min^{-1} まで連続的に下降させた。その他の実験条件は2章と同様である。

3.2 実験結果および考察

図5に各回転数における油膜力を示す。プレーン試験片は、いずれの回転数においても油膜力は零となった。一方、円形ディンプル試験片では、上昇過程と下降過程において異なる値を示し、ヒステリシスがみられた。これは、キャビテーション面積の影響を受けていると考えられる。そこで、各回転数においてディンプルに発生するキャビテーションを図6に示す。ディンプル部のうち、黒い部分にはキャビテーションが発生している。

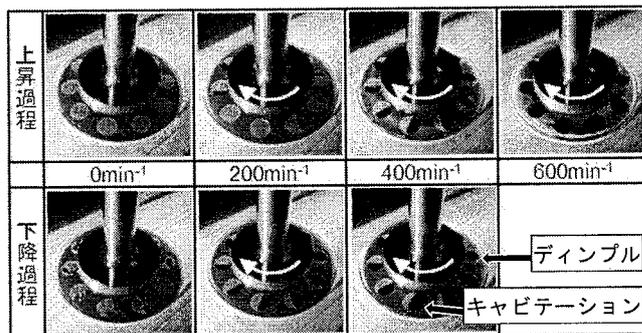


図6 ディンプルに発生するキャビテーション

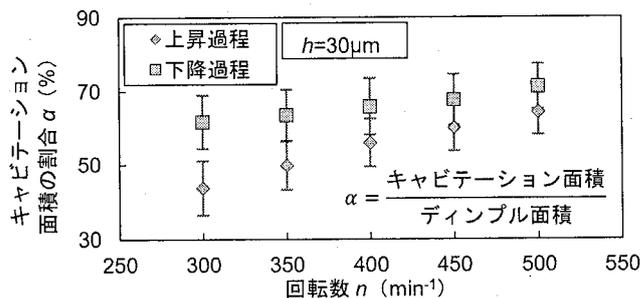


図7 キャビテーション面積の割合

4 結言

本研究では以下の結論が得られた。

- (1) 実験した3種類のディンプル形状では、円形ディンプルが最も油膜力を発生し、同時に摩擦トルクを低下させる効果があった。
- (2) 回転数を上昇、下降させることにより、油膜力およびキャビテーション面積の割合にはヒステリシスがみられた。

参考文献

- 1) C. Shen, M. M. Khonsari : Effect of Dimple's Internal Structure on Hydrodynamic Lubrication, Tribology Letters, 52, 3, (2013), pp.415-430.
- 2) A. T. Cross, F. Sadeghi, R. G. Rateick Jr, S. Rowan : Hydrodynamic Pressure Generation in a Pocketed Thrust Washer, Tribology Transactions, 56, (2013), pp.652-662.

頸椎姿勢モニタリングシステムの基礎的設計開発 (センサ信号処理の工夫およびモニタリングプログラムの開発)

機械工学専攻 佐々木 彩人
指導教授 金田 徹

1 はじめに

人の筋骨格系の診断・評価において医師がおこなう過程には画像診断などが含まれるが、患者の連続的な動きの中での姿勢変化を定量的に把握することは非常に難しい¹⁾。また、病状の把握には診察時間という制限があり、診察時間外においては患者への質疑応答のみに限定されてしまう。本研究で提案する頸椎姿勢モニタリングシステムは、センサを頸椎部に設置して出力される信号をPCでオンライン検出し、頸椎部の姿勢や位置をモニタリング（描画）かつ記録するものである。

図1にシステム概要を示す。本システムを用いることにより、患者の頸椎の状態を時間的制限なしに観察することができ、記録した観察データを利用することで効率的な診察が可能となる。また、頸椎に病状がない健常者の日常的な動きの観察から、予防という観点からの指針を得るための基礎的データを得ることができる。

一般的な対象物の姿勢を測る方法の一例として、モーションキャプチャ技術を用いた研究もすすめられているが、使用される機器のコストや計測範囲などの制約が発生するため、本研究では場所や時間の制限を受けないシステムをめざす。

2 システム

2.1 頸椎姿勢模擬モデル

頸椎モニタリングシステムを設計・開発するにあたり計測方法や使用するセンサの数、種類および取り付け位置を検討する必要があるため頸椎姿勢模擬モデルを製作した（図2）。このモデルは、幅広い状況や症例に対して有効活用できるように、ユニバーサルジョイントを用いて、可動範囲の制限がなく、取り回しやすさを優先させた。製作したモデルは、ピッチ（前屈・後屈）、ロール（側屈）、ヨー（旋回）の各軸回りに自在に動かすことができる。また、センサの取り付け位置に関しては、ユニバーサルジョイントを連結するスペーサ部分を想定している。

2.2 計測用センサ

本研究で使用するセンサは株式会社アールティ社のRT-USB-9axisIMU2 USB出力9軸IMUセンサモジュールである。このセンサはInvenSense社の（3軸加速度、3軸ジャイロ、3軸コンパス）

MPU9150を使用しており、センサのモジュール上には9軸センサとマイクロコンピュータ（LPC1343）が実装されている。図3(a)にセンサの外観、図3(b)にセンサの検出方向を示す。

3 信号処理

3.1 キャリブレーション

9軸センサから出力されるデータには、バイアス（センサの出力値の原点ずれ）が存在する。例えばジャイロセンサは、本来、完全に静止した状態では角速度として0 deg/sを出力するはずであるが、実際に計測をおこなうと0.01 deg/sのように、ゼロ

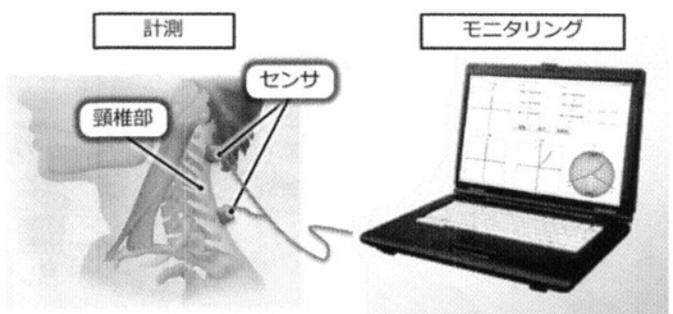


図1 システム概要

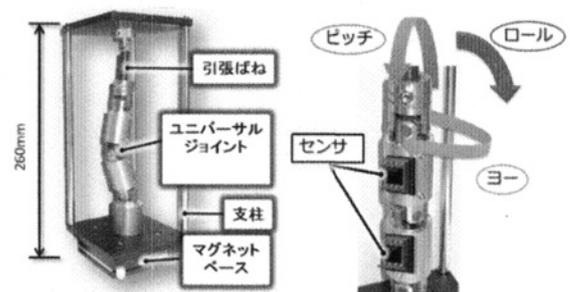
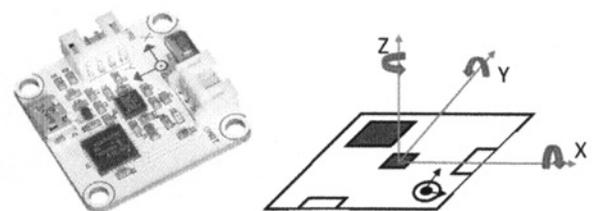


図2 頸椎模擬モデル



(a) IMU センサモジュール (b) センサの検出方向

図3 計測用センサ

から少しずれた値を出力してしまう。このバイアスを補正することにより、精度の高い測定データを取得することができる。本研究ではバイアスを補正するために、センサを完全に静止させた状態でジャイロおよび加速度のセンサ値を 100~1000 回程取得した後に平均し、キャリブレーションをおこなった。

3.2 ドリフト

一般的にすべてのセンサが温湿度の影響を受け、出力が時間経過とともに変動する。もともと信号入力がないのに時間が経てば、信号変化があったかのように出力信号が現れることをドリフトという²⁾。このドリフト現象により、計測値が大きく変動してしまう可能性がある。そのため、本研究では計測用センサ（9 軸センサ）と同一特性のドリフトを持つセンサを固定し静止させた状態で配置し、両センサの差分を計測値とすることでドリフトを減少させた。図 4 に計測用センサの角速度ドリフトを示す。

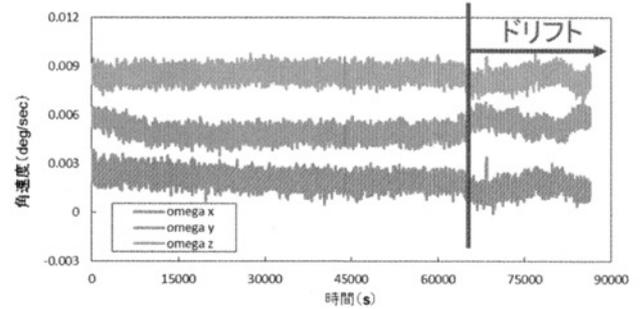


図 4 角速度ドリフト（サンプリング周波数 1Hz）

4 モニタリングプログラム

図 5 にプログラムの実行時の初期画面を示す。これは Processing を用いて試作的に開発したが、ここではプログラムの描画面面について説明する。プログラムの画面は大きく 2 つに分けることができる。画面の左の領域では平面、正面、右側面および等角投影での頸椎姿勢が描画されるようになっている。また、画面の右の領域では加速度、ジャイロ、地磁気のセンサデータ、計測中の時間が表示される。別の機能として、得られた各センサデータ (xyz 軸) を Excel データ (CSV ファイル) に記録することができる。この機能により、医者または患者が測定時の頸椎状態を、後からでも確認することができる。

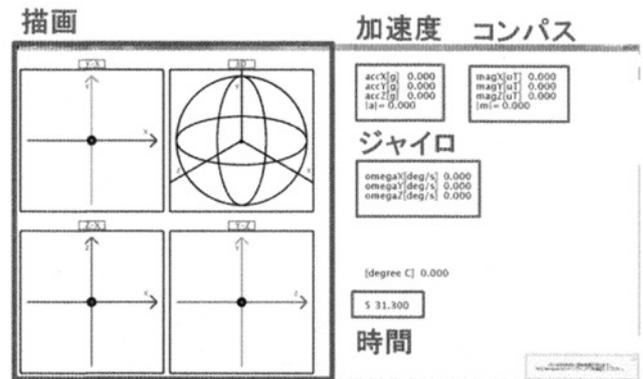


図 5 プログラム実行時の初期画面

5 評価

製作したモニタリングシステムの実機検証をおこなった。計測用センサを 1 つだけ図 2 に示した頸椎モデルに取り付け、頸椎モデルの状態がどれほど再現できているのかを実験した。図 6 に示すように、加えた姿勢変化に応じた描画がなされていることがわかった。

6 おわりに

本研究では、頸椎姿勢モニタリングシステムの実用化に向けて、マイコンを搭載した 9 軸センサを用いて無線化をめざしたモニタリングシステムの開発状況を報告した。頸椎模擬モデルや試作的な描画プログラムの設計・開発、9 軸センサのフィルタやノイズの削除などの信号処理をおこなった。頸椎姿勢模擬モデルを用いた実機検証では、センサ 1 つを利用した場合において、期待どおりのモニタリングが可能であることを確認した (図 6)。

また、本研究ではセンサと PC とを有線 (USB ケー

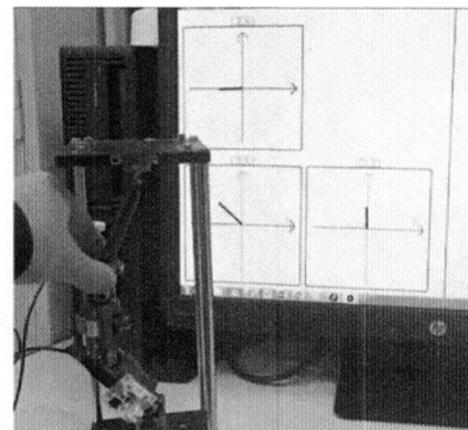


図 6 実機検証の様子

ブル) で接続している。したがって、有線による計測精度 (正確さ) の低下の影響などがある。そのためにも、センサ接続の無線化が必要である。

また、ノイズなどを抑制するハードウェアおよびソフトウェアでの対策を講じて、測定精度の向上を図る必要もある。

参考文献

- 1) 陶山哲夫, 高倉保幸, 草野修輔, 大井直往, 山本満, 赤坂清和: 運動器リハビリテーションの機能評価 I, エルゼビア・ジャパン株式会社, (2006 年 12 月), p.1.
- 2) 西原主計, 山藤和男, 松田康広: 計測システム工学の基礎, 森北出版株式会社, (2012 年 10 月), pp.138-139.

微量油潤滑による軸受疲労寿命への影響の明確化 (回転数 8000min⁻¹ およびアキシャル荷重 10N の場合)

機械工学専攻 竹下 優
指導教授 金田 徹

1 はじめに

近年、さまざまな背景のもとで、産業機器の省エネルギー化が課題となっている。産業機器を構成する機械要素のひとつに転がり軸受がある。転がり軸受には摩擦部位があるため、摩擦、摩耗を低減することが産業機械の低トルク化、省エネルギー化に貢献できることになる。

転がり軸受は、通常、使用する際に、空間容積の3割から4割程度のグリースや潤滑油などの潤滑剤を入れて使用される。この潤滑剤の目的として、①軸受内部のすべり摩耗、摩擦の軽減、②軸受疲労寿命の延長、③摩擦熱の排出、④異物の侵入防止、⑤錆や腐食の防止の5つが挙げられる¹⁾。一方、潤滑剤を使用することで、軸受の回転トルクが大きくなる。潤滑剤によるトルクは、全体のトルクの実に97%も占めている²⁾。そこで軸受に微量の潤滑油を封入すれば、大幅な低トルク化が期待できる。しかしながら、過去、潤滑剤の封入量によって、どの程度寿命に違いが出るかという点に焦点を当てた研究例はない。そのため、軸受が組み込まれている機械の信頼性を確保することができず、いかに低トルクであっても機械に使用することはできないという事情があった。

したがって本研究では、微量油潤滑状態で寿命試験をおこない、潤滑油の粘度と量が、軸受疲労寿命にどのような影響をおよぼすかについて検証した。

2 理論

基本定格寿命とは、同じ軸受を同一条件で個々に回転させたとき、その90%が転がり疲れによるく離(フレーキング)を生じることなく回転できる総回転数を基本定格寿命と定義されている¹⁾。基本定格寿命は次の式で求めることができる。

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (1)$$

ここで、

- L_{10h} : 基本定格寿命 (h)
- C : 基本動定格荷重 (N)
- P : 動等価荷重 (N)
- n : 回転速度 (min⁻¹)

p : 型式係数 (玉軸受: 3)

$$L = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1^e} + \frac{1}{L_2^e} + \dots + \frac{1}{L_n^e}\right)^{\frac{1}{e}}} \quad (2)$$

ここで、

- L : 軸受全体としての総合基本定格寿命 (h)
- L_1, L_2, \dots, L_n : 個々の基本定格寿命 (h)
- e : 型式係数 (玉軸受: 10/9)

3 実験装置および実験方法

3.1 実験装置

図1に実験装置を示す。実験には24V DC電源、振動コンパレータ、データロガー、15V DC電源、モータドライバ、モータ、加速度ピックアップおよび深溝玉軸受608Zを使用した。

3.2 実験方法

表1に実験条件、表2に本研究で使用した軸受の仕様、表3に封入した潤滑剤を示す。

実験時には、アセトンで防錆油を取り除き、各条件の潤滑剤を封入した。試験軸受(深溝玉軸受608Z)をモータに2個組み込み、皿ばねによって、アキシャル荷重10Nをかけた。

振動加速度および軸受温度の2項目を計測した。振動加速度はモータ上部に取り付けた加速度ピックアップによって、温度は実験装置下部の中心に取り付けてある熱電対によって測定をおこなった。

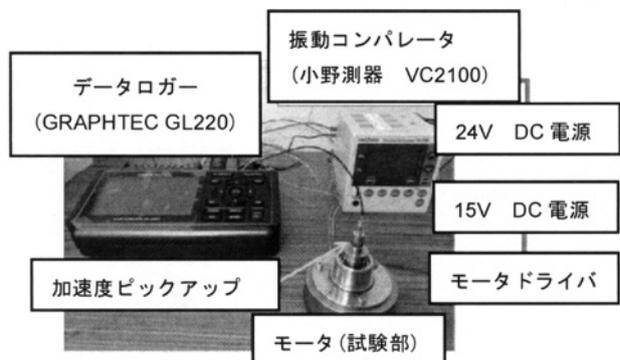


図1 実験装置

表 1 実験条件

回転数 (min ⁻¹)	8000
荷重 P (N)	10
環境温度 (°C)	25±3
試験軸受 (個)	2×10 セット
潤滑条件	VG2, VG10, VG32
油量 (μL)	1, 2, 10
寿命判断	振動加速度が初期値の6倍を超えたとき

表 2 軸受仕様²⁾

試験軸受	608Z
種別	片シールド
材質	SUJ2
基本動定格荷重 C _r (N)	3300
基本静定格荷重 C _{0r} (N)	1370
許容回転速度 (油潤滑) (min ⁻¹)	36000
外径 D (mm)	22
内径 d (mm)	8
幅 B (mm)	7

表 3 潤滑剤の種類³⁾

潤滑剤	動粘度の中心値 (mm ² /s, 40°C)
ISO VG 2	2.2
ISO VG10	10
ISO VG32	32

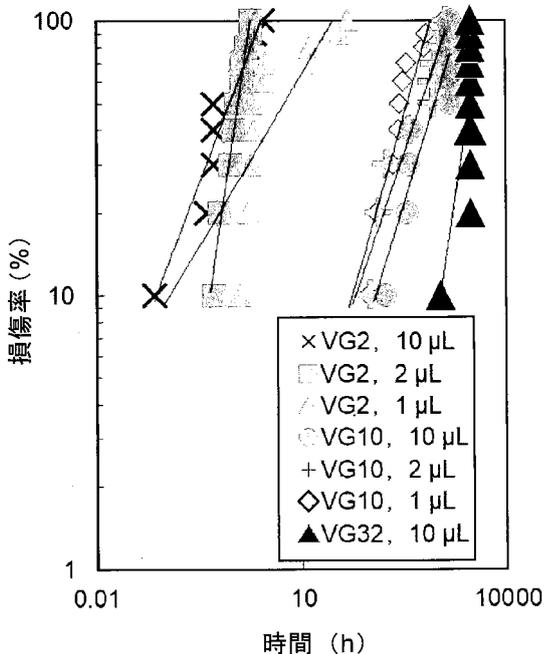


図 2 損傷率との時間の関係

4 寿命の評価

実験によって得られた損傷率と時間との関係を図 2 に示す。

図 2 および式 (2) から本試験のシステム寿命を求めると、VG2 を 10μL が式 (3)、VG10 を 10μL が式 (4)、VG10 を 10μL が式 (5) となる。

$$y = 54.585x^{0.65} \quad (3)$$

$$y = 0.0635x^{0.95} \quad (4)$$

$$y = 0.0001x^{1.62} \quad (5)$$

これらの式より各条件におけるシステム寿命を求めると、VG2 を 10μL 封入した場合は $L=0.071h$ 、VG10 を 10μL 封入した場合は $L=205.52h$ 、VG32 を 10μL 封入した場合は $L=1220h$ となる。さらに、VG2 の場合の軸受寿命 L_{10h} は、

$$L_{10h} = \sqrt[2]{\left(\frac{1}{L}\right)^2} = \sqrt{2} \times L = 0.13 h \quad (4)$$

と計算することができ、0.13h となる。同様に、VG10 の場合は 383.51h、VG32 の場合は 2276h 以上となった。

しかしながら、本研究で得られた軸受寿命は本試験条件でのみ適用することが可能である。したがって、今後は荷重条件や回転数を変化させて、定式化および定量化する必要がある。

5 おわりに

深溝玉軸受 608Z に VG2, VG10 および VG32 を 1μL, 2μL, 10μL それぞれ封入し、微量潤滑状態にて、回転数 8000min⁻¹、純アキシャル荷重 10N で寿命試験をおこなった結果、以下のことが明らかになった。

- (1) VG2 を封入して試験をおこなった結果、振動加速度と温度は軸受が停止する時期に上昇した。
- (2) VG2 を 10μL (空間容積の 1.5%) 封入した場合、軸受寿命 L_{10h} は約 0.13h となった。
- (3) VG10 を 10μL (空間容積の 1.5%) 封入した場合、軸受寿命 L_{10h} は約 383.51h となった。
- (4) VG32 を 10μL (空間容積の 1.5%) 封入した場合、軸受寿命 L_{10h} は 2276h 以上となった。
- (5) 本実験条件下では、潤滑油の粘度が高くなるにつれて、軸受寿命の L_{10h} が伸びた。

参考文献

- 1) NTN 株式会社編集チーム：ベアリングがわかる本、森北出版 (2016) pp.13-84.
- 2) NTN 株式会社：転がり軸受総合カタログ pp.37-38.
- 3) 出光興産潤滑油部潤滑技術二課：絵解き潤滑油基礎のきそ、日刊工業新聞社(2018) p.36-88.

セルラーオートマトン法を用いたマイクロブラスト加工の 3次元シミュレーション

機械工学専攻 長瀬 徳孝
指導教授 柳生 裕聖

1 はじめに

マイクロブラスト加工は基板上に微細なマスクパターンを形成し、投射材が噴射されるノズルを基板上に走査することで、基板上に微細な溝や穴を高速に形成可能な加工法である。加工形状はマスク材の摩耗や投射材のサイズに影響するため、これらを考慮した高精度な3次元シミュレータが必要となる。

既にセルラーオートマトン (CA) 法と粉体摩耗理論を組み合わせることによる、マスク材の摩耗を考慮したマイクロブラスト加工の3次元加工形状シミュレータが開発されており、シミュレーション結果が、ガラス基板の実験結果と一致することが報告されている²⁾。このシミュレータでは、加工空間を材料の種類と摩耗量の情報を有する多数のセルに分割しており、決められたルールに従って3×3セルの中の材料の配置パターンから投射材の入射角を決定し、入射角に応じたセルの摩耗量を算出することで加工形状を予測できる。しかし、投射材のサイズを考慮していないため、投射材サイズはセルサイズと同一となり、高精度に加工形状を予測することが困難である。

本研究ではマスク材の摩耗を考慮したシミュレーションプログラムに投射材サイズを考慮するためのアルゴリズムを実装したシミュレータを開発した。さらに加工実験により得られたパラメータを用いて、計算される加工形状を実験結果と比較することによりシミュレータの有用性を評価した。

2 マイクロブラスト加工

マイクロブラスト加工では、試料に対して垂直に設置されたノズルから、投射材が高圧でマスク材により覆われた基板上に投射される。試料全面を均一に加工するために、ノズルまたは試料台はXYステージの制御により一定の速度、一定のピッチで移動し、マスク材と基板(ガラス)の耐摩耗性の差によりマスク材の開口部の基板を加工することが可能である(図1)。

3 シミュレーションモデル

CA法では、空間は多数のセルに分割され、各セルはセルの状態 C (0: 空間, 1: ガラス表面, 2: ガラス内部, 3: マスク表面, 4: マスク材内部) とセルの質量 B [g]を保有する(図2)。本研究では表面セル ($C=1$

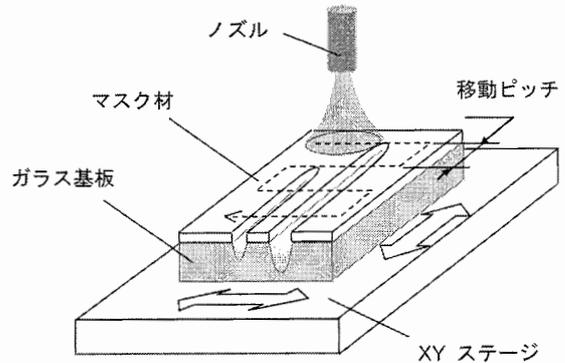


図1 マイクロブラスト加工プロセス

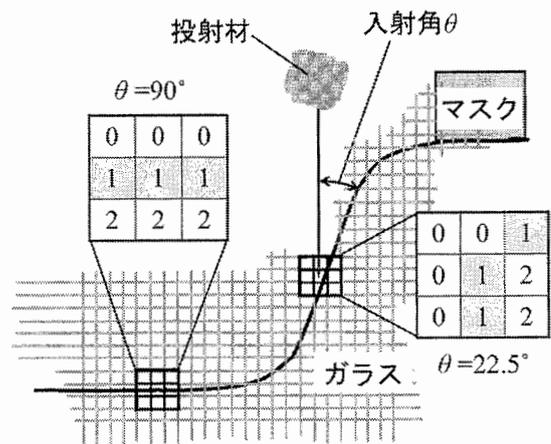


図2 CA法におけるセルの配置と粒子の入射角 θ

or 3) について並列に評価を実施し、3×3セルの中心セル(評価するセル)の近傍セルの状態 C の配置により入射角 θ [°] を決定した。また各表面セルについて決められたルールを適用し、ルール(1)では表面のセルの摩耗量 $R(\theta)$ [g/J] を算出し、ルール(2)では摩耗して空間となったセルを表面セルへ更新した。

マスク材、ガラス基板の加工量 $R(\theta)$ と入射角 θ の関係は、以下の J. E. Nielson と A. Glichrist の式 (1), (2) により表すことができる。

$$R(\theta) = k_1(\sin \theta - K)^2 + k_2 \cos^2 \theta \sin \eta \theta \quad \theta < \alpha \dots \dots \dots (1)$$

$$R(\theta) = k_1(\sin \theta - K)^2 + k_2 \cos^2 \theta \quad \theta > \alpha \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $\theta = \alpha$ のとき、 $\sin(\eta\theta) = 1$ とおくと、 $\alpha = \pi / 2\eta$ となる。また、 k_1^{-1} は変形による摩耗、 k_2^{-1} は切削による摩耗に関するパラメータであり、単位重量の材料を除去するために材料表面に吸収されるエネルギー [J/g]

である。 K は弾性限度に関する材料定数であり、非常に小さいため本研究では無視した。

本モデルでは、投射材の運動エネルギーを1Jに設定し、式(1)、(2)から算出された加工量 $R(\theta)$ を基にしたルールに従ってセルの質量 B は減少し、 $B=0$ のときセルの状態 C は空間に更新される。

3次元シミュレーションでは、 x - y 平面上と z - y 平面上に存在する2面のセルを垂直の組み合わせたセルにより、中心セルの状態はそれぞれの平面上の 3×3 セルの評価により算出した摩擦量 $R_x(\theta)$ 、 $R_z(\theta)$ と k_1^{-1} の積により決定した²⁾。

また投射材は円形と仮定、入射角 θ と中心セル位置 A の座標から投射材の中心位置 P の座標を算出した。算出された投射材の中心座標 P と直径 d の円の方程式を用いて、円周上のセルの状態 C を評価し、すべてのセルの状態が空間 ($C=0$) の場合だけ、ルールに従って摩擦することとした。セルサイズは $400 \times 400 \times 100$ セル、1つのセルの長さを $2\mu\text{m}$ 、シミュレーションにおける20ステップを実験における1passに設定し、30passの計算を実施した。

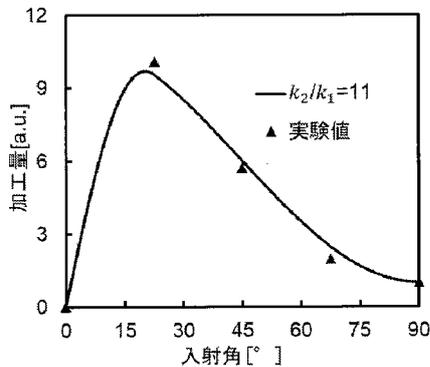


図3 マスク材の加工量 $R(\theta)$ と入射角 θ の関係

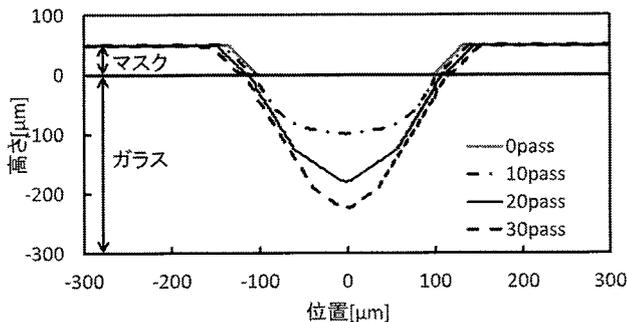


図4 投射材を考慮した加工断面形状の計算結果

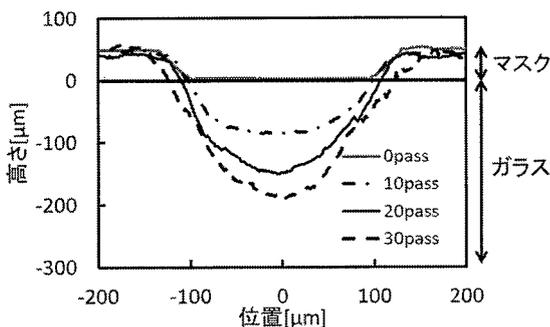
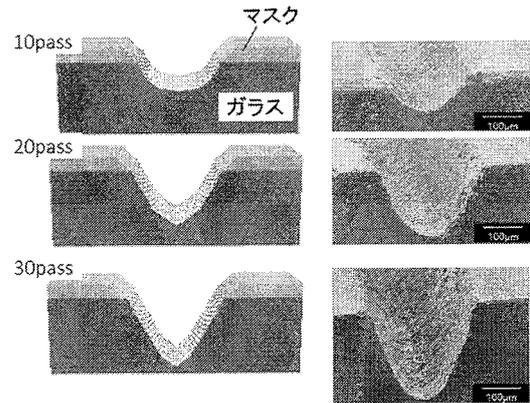


図5 実験におけるブラスト加工断面形状



(a) 投射材を考慮したシミュレーション結果 (b) ブラスト加工後のガラス基板のSEM写真

図6 3次元断面形状

4 計算結果

本研究では k_1 については、投射材の入射角が 90° のときの実験値よりガラス基板は $k_1=1$ 、マスク材は $k_1=0.0133$ に設定した。 k_2 については、加工量と投射材の入射角の関係を加工実験により明らかにし、式(1)、(2)による加工量の入射角依存性が実験値と比較することにより、ガラス基板は $k_2/k_1=0$ 、マスク材については $\eta=4$ ($\alpha=25^\circ$) とし、 $k_2/k_1=11$ に決定した(図3)。なお、加工実験においてマスク材はドライフィルムレジスト(三菱製紙, MS7050, 厚さ $50\mu\text{m}$)、ガラス基板はソーダライムガラスを使用した。

図4に投射材サイズ(粒子径 $25\mu\text{m}$)を考慮した2次元断面形状の計算結果(マスク開口幅 $200\mu\text{m}$)、図5に実験におけるブラスト加工断面形状を示す。また図6に投射材サイズ(粒子径 $25\mu\text{m}$)を考慮した3次元シミュレーション結果(図6(a))とブラスト加工後のガラス基板のSEM写真(図6(b))を示す。シミュレーション結果はガラス基板の加工断面の底の形状が円弧形状を示し、実験結果と一致することが確認できる。以上のことから本研究のシミュレータの有用性が明らかとなった。

5 おわりに

CA法と粉体摩擦理論を組み合わせた3次元マイクロブラスト加工シミュレータにおいて、投射材のサイズを考慮したシミュレーションを実施した。計算結果より投射材サイズを考慮することにより加工形状が実験結果と一致することが確認された。

参考文献

- 1) J. E. Nielson, A. Gilchrist: Erosion by a Stream of Solid Particles, Wear, 11 (1968), pp.111-122.
- 2) H. Yagyu, O. Tabata: Three-Dimensional Micro-powder Blasting Simulation using Cellular Automaton, J. Micromech. Microeng., 18 (2008), p.055010.

グリースの流動特性が転がり軸受のトルクにおよぼす影響

機械工学専攻 二瓶 美摘
指導教授 宮永 宜典

1 緒言

転がり軸受は、機械の回転運動を支える要素部品として多岐に使用されており、その80%以上がグリースによる潤滑である。グリースの流動特性は、軸受トルクに大きく影響することが、さまざまな研究から明らかになっている。軸受トルクの低減には、軸受内部のグリース挙動が関係すると考えられる¹⁾。そこで本研究では、レオロジー測定によりグリースの流動特性について検討し、PIV解析によりグリースの再流動性について評価する。また、転がり軸受にグリースを封入し、トルク測定をおこなうことを目的とした。さらに、各測定により得られた結果をもとに、植物油脂を用いた低トルクグリースを試作し、その性能評価をおこなうことを目的とした。

2 レオロジー測定によるグリースの流動特性の検証

表1にグリースの諸元を示す。本研究では、コンプレート型レオメータによって、グリースに微小振動を与え、動的粘弾性測定をおこなった。振動の周波数は、深溝玉軸受6201VVの固有振動数から9Hzに設定した²⁾。動的粘弾性測定から得られた貯蔵弾性率 G' および損失弾性率 G'' が交差する時のせん断応力を粘性移行応力と呼ぶ。図1に各グリースの粘性移行応力と温度の関係を示す。その結果、グリースL2が最も高い粘性移行応力を示し、次いで、L1、L0の順となった。また、グリースL1およびL2は、温度が高くなるにつれて粘性移行応力が低くなるのに対し、グリースL0は温度依存性がみられなかった。

3 PIV解析によるグリースの流動性の検証

図2に解析装置の概略図を示す。ガラスプレート上に蛍光粒子(粒径 $3\mu\text{m}$)を0.2wt%混入させたグリースを厚さ0.01mmで均一に塗布した。その上を直径10mmのSUJ2の玉を速度130mm/sで通過させる。玉によってかき分けられた直後のグリースの流動を、ハイスピードカメラにて0.1s間撮影した。図3に示す各グリースの解析結果から、グリースL0が最も流速が速いため、短時間で流動することを示した。次いで、L1、L2の順で流動に時間がかかることがわかる。そのため、L0より流動しにくいことがわかった。

表1 グリースの諸元

	増ちょう剤	基油	ちょう度 (温度 298K)	見かけ粘度 (Pa·s) (せん断速度 10s^{-1} , 温度 263K)
L0	リチウム セッケン	精製鉱油	365	90
L1			320	149
L2			271	313

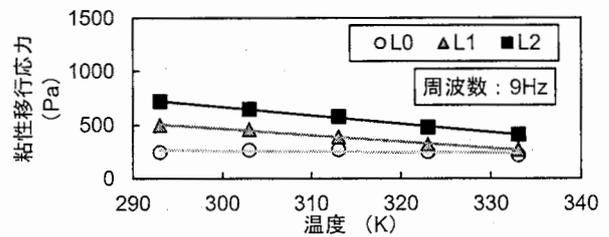
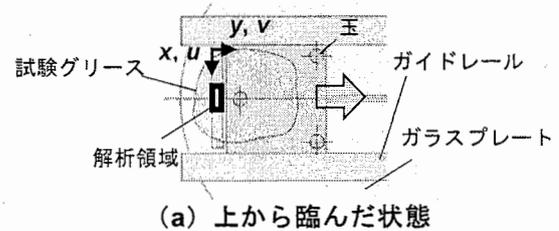
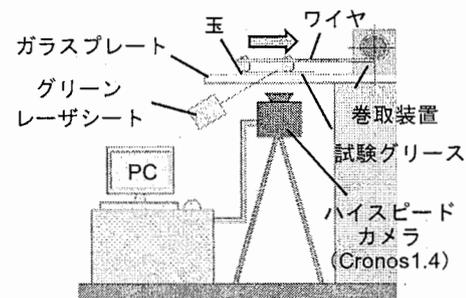


図1 粘性移行応力と温度の関係



(a) 上から臨んだ状態



(b) 正面から臨んだ状態

図2 PIV解析装置概略

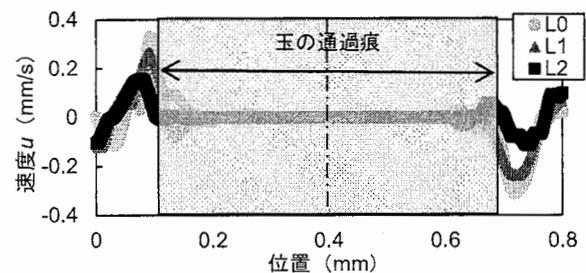


図3 リチウムセッケングリースのPIV解析結果

4 潤滑グリースの流動特性が転がり軸受のトルクにおよぼす影響

図4にトルク測定装置を示す。試験軸受には、深溝玉軸受6201VVを用いた。内輪を2000min⁻¹で回転させ、外輪の連れ回り力をロードセルによって測定する。軸受の外輪には、50Nのスラスト荷重を与えた。図5に示すトルク測定結果から、グリースL0, L1, L2の順にトルクが低くなった。グリースL1, L2は、回転開始直後に軸受トルクが低くなっているのに対し、グリースL0は、軸受トルクが安定するまでに数分かかっている。また、粘性移行応力が最も低いことや、PIV解析結果から流動しやすいことがわかっているため、グリースL0はチャネリング状態であると考えられる。一方、グリースL2は、粘性移行応力が最も高く、流動しにくいグリースであることから、軸受内でチャネリング状態となり、トルクが低い値で安定したと考えられる。また、グリースL1は、L0とL2の中間の挙動を示した。

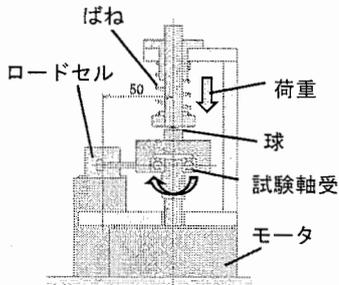


図4 トルク測定装置の概略

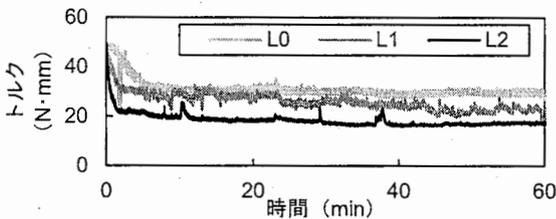


図5 リチウムセッケングリースのトルク測定結果

5 植物油脂を用いた低トルクグリースの試作およびその性能評価

表2に試作したグリースの諸元を示す。グリースは基油85%、増ちょう剤15%の割合で製造した。基油に植物油脂の新油および廃油を用い、それぞれグリースNおよびグリースWとした。グリースの製造では493Kまで加熱し、10回ミリングをおこなった。図6に示すレオロジー測定の結果から、粘性移行応力はいずれのグリースでも温度依存性がみられた。図7に示すPIV解析の結果から、いずれのグリースでも、流動しにくいことがわかった。また、図8に示すトルク測定結果から、いずれのグリースでも運転開始直後にトルクが急激に低くなり、低い値で安定していることから、チャネリング状態であると考えられる。

表2 試作グリースの諸元

	基油		増ちょう剤	見かけ粘度 (Pa·s) (せん断速度 10s ⁻¹ 温度 313K)
	材質	粘度 (Pa·s) (313K)		
N	なたね油	33.72	0	162
W		34.58	ステアリン酸 リチウム	120

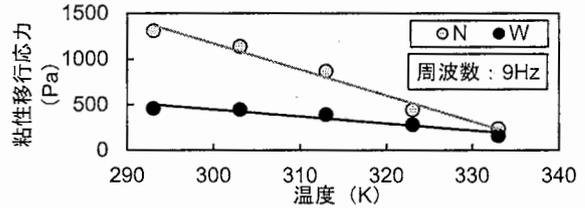


図6 試作グリースの粘性移行応力と温度の関係

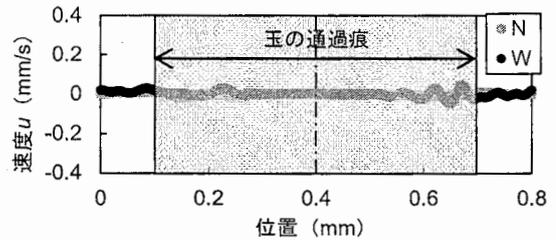


図7 試作グリースのPIV解析結果

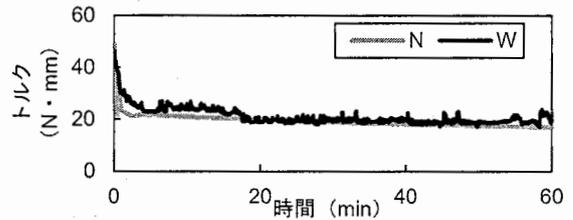


図8 試作グリースのトルク測定結果

6 結言

本研究では、転がり軸受のトルクにおよぼす潤滑グリースのレオロジー特性の影響を調査した。また、調査の結果に基づいて植物油脂を使用したグリースを試作し、以下の結論を得られた。

- (1) 粘性移行応力が低いグリースは軌道面へより流動しやすく、転がり軸受のトルクが高くなることがわかった。
- (2) 振動によってグリースが再流動を起こしやすくなるため、トルクが上昇する傾向にあった。
- (3) なたね油の新油と廃油を使用したグリースの性能評価をおこなった結果、いずれのグリースでもチャネリング状態となることが示されたため、植物油脂の廃油を再利用したグリースの有用性が示された。

参考文献

- 1) 鈴木利郎：ころがり軸受内のグリースの潤滑挙動、潤滑、19, 4, (1974), pp.252-259.
- 2) 日本精工株式会社：テクニカルレポート、(2013), pp.248-249.

ガラス製マイクロ流体デバイスを用いた銅ナノ粒子の合成

機械工学専攻 梁 毅楊
指導教授 柳生 裕聖

1 はじめに

金や銀などの貴金属ナノ粒子はインクジェット印刷技術のインク材料として利用されている¹⁾。しかし貴金属は高価であるため、低価格であり電気伝導性の優れたインク材料として銅ナノ粒子が注目されている。金属ナノ粒子は液相還元法により合成可能であるが、銅は酸化されやすいため金ナノ粒子のように大気中での合成が困難であるが、還元剤と酸化防止剤としてアスコルビン酸を用いることにより、大気中で銅ナノ粒子を合成可能である¹⁾。

液相還元法による金属ナノ粒子の合成については、マイクロ流体デバイス内の流量を変量することによる金ナノ粒子の粒子径制御が報告されている²⁾。マイクロ流体デバイス内の微細流路は外部から密閉されており熱効率が高いため、流路内の加熱温度と流量の変量により、銅ナノ粒子の粒子径制御が可能になることが期待できる。しかし、マイクロ流体デバイスを用いた銅ナノ粒子の合成における粒子径制御法に関する報告は少ない。

本研究では、マイクロ流体デバイスを用いた銅ナノ粒子の合成における流量と加熱温度の粒子径への影響を明らかにする。

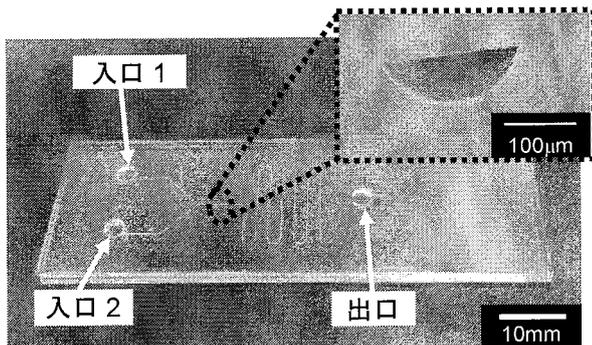


図 1 ガラス製マイクロ流体デバイス

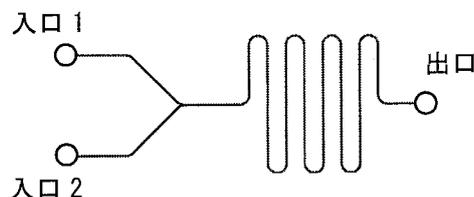


図 2 Y字型マイクロ流路パターン

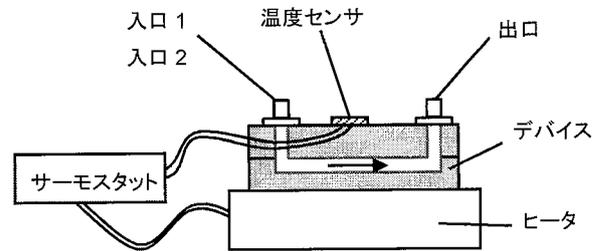


図 3 実験装置

2 実験方法

2.1 合成実験

本研究ではマイクロプラスト法と熱圧着法により製作した流路幅 $260\mu\text{m}$ 、深さ $70\mu\text{m}$ の Y 型微細流路を有するソーダライムガラス製マイクロ流体デバイスを使用した (図 1)。

図 2 に本研究で用いたマイクロ流体デバイスの流路パターンを示す。合成実験では銅イオンとして塩化銅 (II) 二水和物エチレングリコール溶液 3mL (溶液 A, 50.1mM)、酸化防止剤、還元剤として L-アスコルビン酸エチレングリコール溶液 3mL (溶液 B, 505.7mM) をシリンジポンプを用いて入口 1, 2 から流量 $0.001\sim 0.04\text{mL}/\text{min}$ で送液し、合成された銅ナノ粒子を出口からシリコンチューブを通してガラス瓶に保存した。デバイスはヒータ上に設置され加熱温度はヒータと熱電対により、デバイスの加熱温度を 100 、 130 、 160°C に制御した (図 3)。

2.2 評価方法

分光光度計 (島津製作所, UVmini-1240) を用いて合成した銅ナノ粒子の可視光吸収スペクトルを測定した。銅ナノ粒子の吸収スペクトルは平均粒子径が大きくなると長波長側にシフトすることが確認されている²⁾。本研究では合成した銅ナノ粒子の吸収スペクトルと TEM 写真から解析した平均粒子径の関係に注目し、吸収スペクトルの吸収端波長から合成した銅ナノ粒子の平均粒子径を評価した。

3 実験結果

図 4 に加熱温度 160°C で合成した銅ナノ粒子と還元前の混合溶液の吸収スペクトルを示す。還元前に無色透明であった溶液 A と溶液 B の混合溶液は還元後にオレンジ色、または濃い黒色に変化し、吸収スペクトルの吸収端波長が長波長側にシフトすることが確認

された。ただし、流量 0.001mL/min の吸収スペクトルは 1/10 の値である。図 5 に流量 0.001, 0.02, 0.04mL/min, 加熱温度 160°C で合成した銅ナノ粒子の TEM 写真を示す。流量を制御することで粒子径が変化し、流量 0.001mL/min で合成された銅ナノ粒子の平均粒子径と標準偏差は 3.26nm と 1.19nm を示すことが確認された。

さらにビーカで合成した銅ナノ粒子 (100°C × 120min, 160°C × 60min, 160°C × 120min) と、デバイスを用いて加熱温度 160°C で流量 0.001, 0.02, 0.04mL/min で合成した銅ナノ粒子の吸収スペクトルの解析により、吸収端波長 w と平均粒子径 d の関係は、以下の線形近似式で表すことができる (図 6)。

$$d = 0.0927w - 30.356 \quad (1)$$

本研究では式(1)を用いて加熱温度 100°C と 130°C で合成した銅ナノ粒子の平均粒子径を評価した。図 7 に加熱温度 100°C, 130°C, 160°C で合成した銅ナノ粒子の平均粒子径と流量の関係を示す。流量の増加と加熱温度の減少により平均粒子径が小さくなり、加熱温度 100°C では流量 0.04mL/min 以上, 加熱温度 130°C では流量 0.06mL/min 以上では銅ナノ粒子が合成できないことが確認された。また加熱温度 160°C, 流量 0.1mL/min のとき、平均粒子径が 2.46nm の銅ナノ粒子が合成できることが確認された。以上のことから温度制御可能なガラス製マイクロ流体デバイスが銅ナノ粒子の粒子径制御に対し有用であることが明らかとなった。

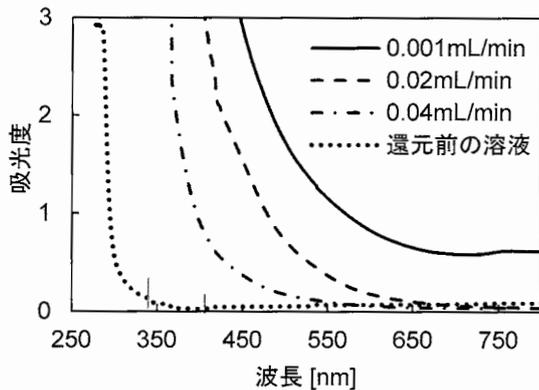
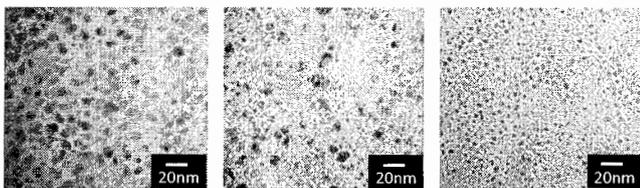


図 4 合成した銅ナノ粒子と還元前溶液の吸収スペクトル



(a) 0.001mL/min (b) 0.02mL/min (c) 0.04mL/min
図 5 合成した銅ナノ粒子の TEM 写真 (加熱温度 160°C)

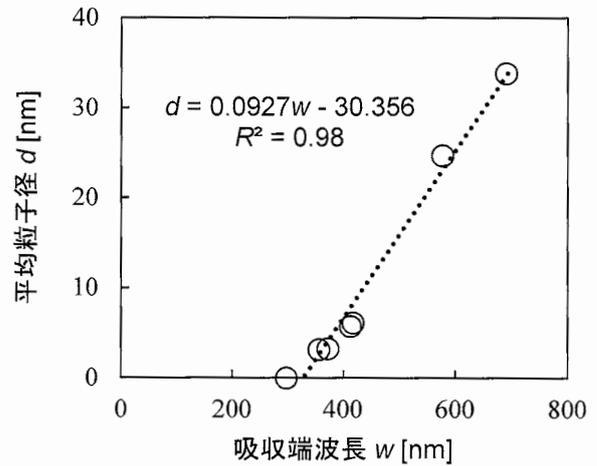


図 6 吸収端波長 w と平均粒子径 d の関係

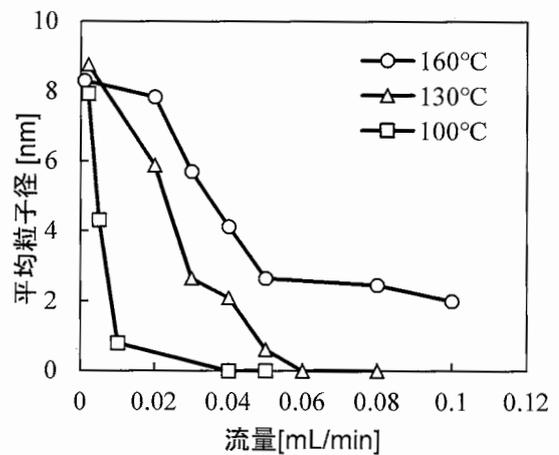


図 7 吸収端波長により計算した銅ナノ粒子の平均粒子径

4 おわりに

本研究では温度制御が可能な Y 字型流路を有するガラス製マイクロ流体デバイスを用いて銅ナノ粒子の合成を検討した。さらに合成した銅ナノ粒子の平均粒子径と加熱温度、流量の関係を確認した結果、ガラス製マイクロ流体デバイスを用いて加熱温度と流量制御により平均粒子径の制御が可能であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) M. Li, K. Xiang, G. Luo, D. Gong, Q. Shen : Preparation of Monodispersed Copper Nanoparticles: Environmentally Friendly Chemical Reduction, *Chin. J. Chem.*, 31 (2013), pp. 1285-1289.
- 2) H. Yagyu, Y. Tanabe, S. Takano, M. Hamamoto, Liquid-phase Reduction Synthesis of Monodispersed Gold Nanoparticles on Glass Microfluidic Device with Flow Rate Control, *Micro & Nanno Lett.*, 12 (2017), pp. 536-539.

金属アシスト型スロット導波路センサの高感度化に関する研究

電気工学専攻 黒沢 優太
指導教授 石坂 雄平

1 はじめに

近年、集積型屈折率センサの研究が活発化しており、高感度なバイオセンサやガス検知器としての利用が期待されている。今日まで、リング共振器やマッハツェンダー干渉計で構築された集積型センサが様々提案されている。最近の研究では、TEモードを用いたスロット導波路の下部クラッド領域に金属を挿入することによって光閉じ込めを強くすることができ、センサ感度が改善できるということが報告された¹⁾。しかしながら、大規模な集積型センサを構築するに際し、Siを用いて製作しようとする、許容加工誤差が小さくなってしまいうという問題がある。この問題を解決するにあたり注目されているのが高集積と加工誤差耐性の両立が可能なSi₃N₄プラットフォームである²⁾。

そこで本論文では、金属アシスト型Si₃N₄スロット導波路で構成されたリング共振器型センサの特性評価を行う。さらに高感度化を目標として、マッハツェンダー干渉計でセンシング構造を構築し、その特性評価を行う。

2 リング共振器型センサ

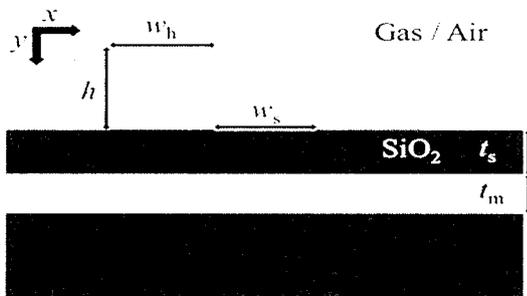


図1 金属アシスト型 Si₃N₄ スロット導波路

図1に、金属アシスト型Si₃N₄導波路を示す。この構造では、コアにはSi₃N₄、金属層には銀を想定し、それぞれの屈折率を2.0⁴⁾、 $0.1453 - j11.3587$ とした。SiO₂の屈折率は1.455とした。さらに導波路上部にはアセチレンガスを想定して屈折率を1.000593とした。構造パラメータとして、コアの幅を w_h 、スロット幅を w_s 、導波路の高さを h 、SiO₂層の厚さを t_s 、金属層の厚さを t_m と定義した。今回、構造パラメータとして $w_s = 0.2 \mu\text{m}$ 、 $h = 0.4 \mu\text{m}$ 、 $t_s = 0.05 \mu\text{m}$ 、 $t_m = 0.5 \mu\text{m}$ を用いた。このような構造に対して、2次元ベクトル有限要素法を用いて、動作波長 $1.55 \mu\text{m}$ のときの導波路においてスロット幅 w_h を $0.34 \sim 0.8 \mu\text{m}$ に変化させたときのスロット導波路及び金属アシスト型スロット導波路の性能比較を行う。

図2に、実効屈折率のコア幅依存性を示す。図よりコア幅が小さくなるにつれて実効屈折率が小さくなるのがわかる。金属を挿入していない場合 $w_h = 0.55 \mu\text{m}$ 以下のコア幅では数値が取れていないが、その理由として導波モードから放射モードになったと考えられる。リング共振器を想定した場合のセンサ感度は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta n_{gas}} = \lambda_0 \left(\frac{\Gamma}{n_{eff}} \right) \quad (1)$$

図3に、センサ感度のコア幅依存性を示す。図より金属を挿入した場合におけるセンサ感度は金属を挿入していない場合に比べて高感度化が達成できることが読み取れる。このときのセンサ感度は1251 nm/RIUが得られた。

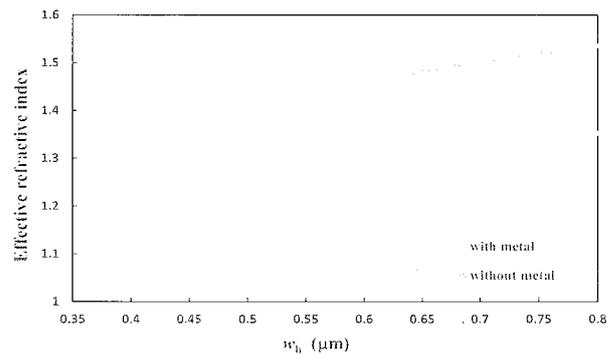


図2 Si₃N₄スロット導波路の実効屈折率のコア幅依存性

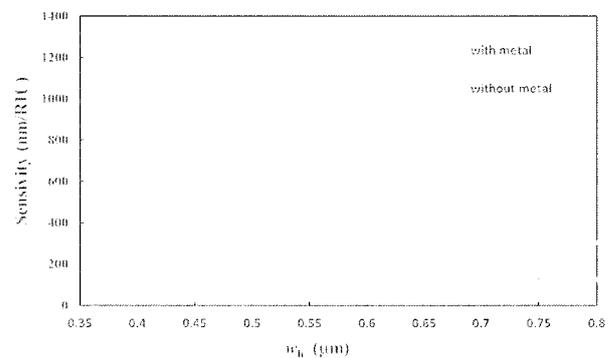


図3 Si₃N₄スロット導波路のセンサ感度のコア幅依存性

3 マッハツェンダー干渉計型センサ

図4に示すようなマッハツェンダー干渉計を用いた場合のセンサ感度を評価する。この構造は、Y分岐回

路を採用した2つの結合器とそれを連結するアーム導波路から成っている。図5に、金属アシスト型 Si₃N₄ スロット導波路で構築したマッハツェンダー干渉計のアームの断面図を示す。本研究では arm2 をセンシング域に設定している。構造パラメータとして、スロット幅、コア幅、コアの高さ、SiO₂ の厚さをそれぞれ w_s , w_{h1} (arm1), w_{h2} (arm2), h , t と定義した。本研究で用いた構造パラメータを表1にまとめる。マッハツェンダー干渉計の透過率 T は次式で与えられる⁵⁾。

$$T \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(2\pi \frac{\Delta n_{eff}}{\lambda} L \right) \right] \right\} \quad (2)$$

L はアームの長さを表しており今回は2本とも同じ長さに設定したため、 $L_1 = L_2 = L$ としている。また、 Δn_{eff} は arm1 と arm2 の実効屈折率差を表している。

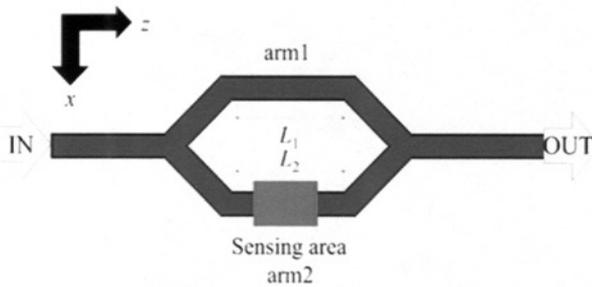


図4 導波路型マッハツェンダー干渉計の構造図

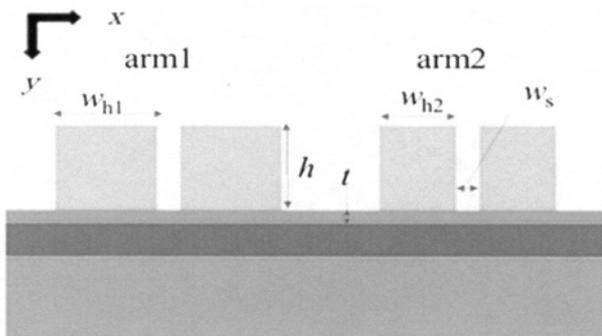


図5 マッハツェンダー干渉計の断面構造

表1 構造パラメータ

arm	構造パラメータ(μm)
arm1 ($n_{gas} = 1.000593$)	$t = 0.05$, $w_{h1} = 0.58$, $w_s = 0.1$, $h = 0.4$
arm2 ($n_{gas} = 1.000593$)	$t = 0.05$, $w_{h2} = 0.33$, $w_s = 0.1$, $h = 0.4$
arm2' ($n_{gas} = 1.015593$)	$t = 0.05$, $w_{h2} = 0.33$, $w_s = 0.1$, $h = 0.4$

図6に、実効屈折率の波長依存性を示す。図より、波長が長くなるにつれて実効屈折率は小さくなるのがわかる。図7に、アームの長さ $L = 35 \mu\text{m}$ とした場合の透過率の波長依存性を示す。図より arm2' の出力ピーク時の波長は arm2 の出力ピークに比べて短波長側にシフトしていることが読みとれた。このときの共振波長のシフト量は 46 nm であり、センサ感度は 3067 nm/RIU となった。

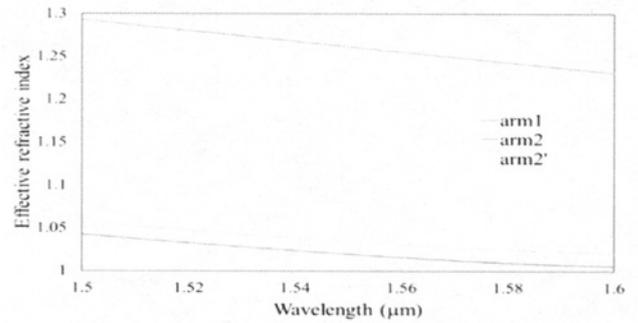


図6 実効屈折率の波長依存性

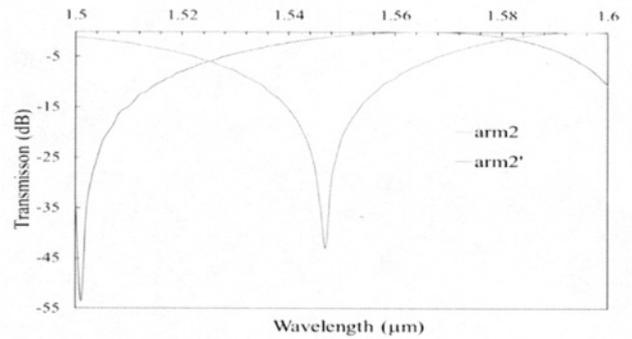


図7 透過率の波長依存性 ($L = 35 \mu\text{m}$)

4 おわりに

今回、Si₃N₄ スロット導波路に基づくリング共振器型センサのセンサ感度の評価を行った。解析結果より、最大のセンサ感度は 1251 nm/RIU が得られた。続いて、マッハツェンダー干渉計で構築した場合のセンサ感度評価を行った。結果として、センサ感度は 3067 nm/RIU が得られた。マッハツェンダー干渉計型は、リング共振器を想定したセンシング構造に比べ2.5倍のセンサ感度の改善が出来ており、マッハツェンダー干渉計型の方が高感度化に有利であることを示した。

参考文献

- 1) Y. Ishizaka, S. Makino, T. Fujisawa and K. Saitoh., "A metal-assisted silicon slot waveguide for highly sensitive gas detection" IEEE Photonics J., vol. 9, no 1, 2017.
- 2) B. Roel, Kristinn B. G. Sanchez, A. Griol, H. Sohlstrom, M. Holgado and R. Casquel, "Silicon Photonics: silicon nitride versus silicon-on-insulator" OFC, 2016.
- 3) Y. Kurosawa and Y. Ishizaka, "Evaluation of sensor sensitivity in metal-assisted silicon nitride slot waveguide" MSST, 2018
- 4) Q. Liu, J. Kee and M. Park, "A refractive index sensor design based on grating-assisted coupling between a strip waveguide and a slot waveguide" Optics Express vol. 21, No. 5, 2013.
- 5) 石坂雄平 "金属アシスト型シリコンスロット導波路で構成されたマッハツェンダー干渉計の初期的検討" 関東学院大学理工/建築・環境学会研究報告書 第62巻, 2019.

自動運転システム開発に向けた 運転シナリオ生成とシミュレーション

電気工学専攻 小池 茜
指導教授 石坂 雄平

1 はじめに

近年、先進運転支援システム（ADAS: Advanced Driving Assistant System）や完全自動運転の実現に向けた車載用システムの研究開発が活発化している。これらの進展には、高度な技術が求められ、特に個々のセンサの技術向上が必要であるとされている。従来人間自ら運転操作を行っていた自動車を自動運転システムが操縦するようになることで、移動時の快適性の向上、人間の運転ミスに起因する交通事故の削減などにつながり、安全快適な交通社会の実現に大きく貢献できるものと期待されている。

このような状況の下、自動運転システムの高度化に向けて、画像認識センサやミリ波レーダ、LiDARなどを融合させたセンサーフュージョンシステムの開発が進められている²⁾。特に最近では、自動運転システムの開発工数を削減するために、MATLABを用いてセンサーフュージョンシステムのシミュレーション環境を構築することが検討されている³⁾。しかしながら、MATLABでは、実際の道路情報に基づくシミュレーションシナリオを構築することが困難であるといった問題がある。そこで本研究では、現実の道路情報が記載されているデジタル地図を活用した⁴⁾シナリオ生成手法を提案するとともに、車両検知シミュレーションについて検討する。

2 センサーフュージョンシステム

センサ単体では検出範囲の角度には限界があり、 360° を検知範囲としたい場合は複数のセンサを設置する必要がある。図1に、本研究で用いるカメラおよびミリ波レーダを用いたセンサーフュージョンシステムを示す。青色領域および赤色領域はそれぞれカメラ、ミリ波レーダによる検出範囲を示している。カメラは前方と後方にそれぞれ1個ずつ、ミリ波レーダは前方に3つ、後方に3つ、合計8つのセンサを設定する。今回、現在販売中の自動運転レベル2が搭載されている車のセンサ配置に習って設定した。このような配置を設定することで、前方車や後方車だけではなく、より複雑な動きをする追い越し車両についても検知可能となる。また、カメラによる計測範囲とミリ波レーダによる計測範囲の重なり合う部分は、高精度検出可能な範囲である。

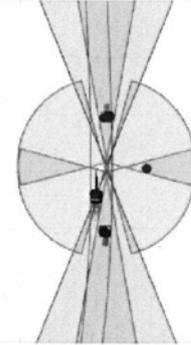


図1 センサーフュージョンシステム

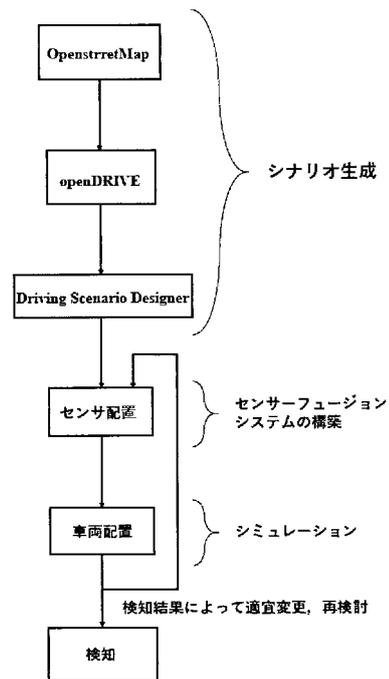


図2 シナリオ生成手法とシミュレーション

3 シナリオ生成手法

図2に、本研究で提案するシナリオ生成手法を示す。本手法では、まず OpenstreetMap を用いて地図を取り込み、openDRIVE を用いて MATLAB で読み込める形式に変換する。更に、変換された地図情報を MATLAB Automated Driving Toolbox の Driving Scenario Designer で読み込み、シナリオ生成を行う。

このような手順でシナリオを作成した後、センサーフュージョンシステムを構築し、車両検知シミュレーションを行う。以下に具体的な手順を示す。

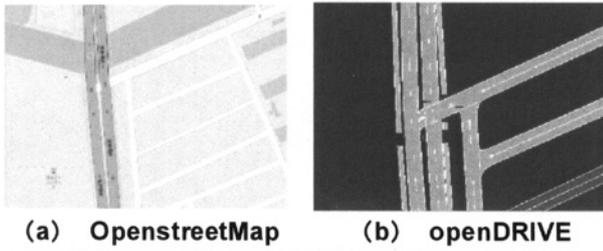


図3 関東学院大学周辺のデジタル地図

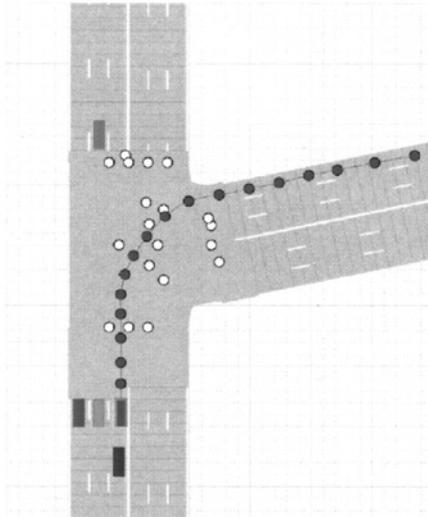


図4 車両配置の設定

図3 (a) は、OpenstreetMap を用いて、関東学院大学周辺にある交差点を取り込んだ結果であり、図3 (b) は openDRIVE を用いて地図情報の形式変換を行った結果である。図より、openDRIVE で地図情報の処理を行うことで、シミュレーションに必要な道路情報を抽出できることがわかる。次に、センサは図1と同様の配置とし、図4に示すような車両配置を設定する。ここで、青色の直方体を自車、紫色の直方体を後方車、橙色、緑色および黄色の直方体はその他の車両として設定した。また、図中の青色の曲線は自車の移動経路を示している。つまり、交差点で自車が右折する場合のシナリオとなる。図5に、車両検知シミュレーション結果を示す。ここで、(a)→(b)→(c)→(d)の順で時間が経過している。青色領域および赤色領域はそれぞれカメラ、ミリ波レーダによる検出範囲を示している。図のようなセンサ配置を設定することで、前方車両だけではなく、並走している車両や後方車両を検知できることがわかった。また、車両以外にも道路上や道路脇にあるようなオブジェクトを検知していることがわかった。このようなセンサ配置でのシミュレーションは、360°可視化できると同時に自動運転技術の開発時間の短縮に貢献できると考えられる。

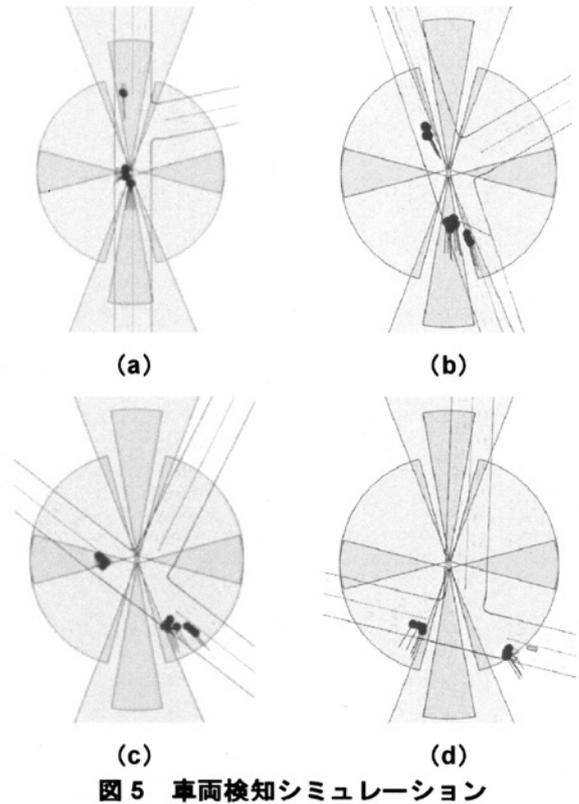


図5 車両検知シミュレーション

3 まとめ

従来の手法は独自のシナリオを個別に設定することが可能であるが、本研究で提案する手法では、シナリオをデジタル地図から生成することにより、実際の道路情報を用いてシミュレーションを行うことができる。このようなシナリオ生成手法は、今後の自動運転技術開発時間の短縮やコスト削減に大きく貢献できることが期待される。

参考文献

- 1) S. Patole, M. Torlak, D. Wang, and, M. Ali, "Automotive radars", IEEE signal processing magazine, pp.22-35, March 2017.
- 2) R.H. Rasshofer and K. Gresser, "Automotive Radar and Lidar Systems for Next Generation Driver Assistance Functions", Advances in Radio Science, Vol.3, pp.205-209, 2005.
- 3) F. Zhang, D. Clarke and, A. Knoll, "Vehicle Detection Based on LiDAR and Camera Fusion", IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp.1620-1625, October 2014.
- 4) T. Lim, A. Ansari, B. Major, D. Fontijne, M. Hamilton, R. Gowaikar and S. Subramanian, "Radar and Camera Early Fusion for Vehicle Detection in Advanced Driver Assistance Systems", Machine Learning for Autonomous Driving Workshop, pp.1-11, 2019.

スマートメーターAルートを活用した熱中症予防システムの開発

電気工学専攻 佐々木 直輝
指導教授 中野 幸夫

1 緒言

近年、高齢化社会が進む中、猛暑によって住居内で気づかれずに熱中症で亡くなる高齢者も増加傾向にある。室内で発生する熱中症に対して対策が必要になってきている。

一方、一般家庭へのスマートメーターの導入が進んでいる。スマートメーターは30分毎に電力量を測定し、電力会社に送信する。このルートは「Aルート」と呼ばれており、Aルートデータを利用した新サービスの創出が期待されている。

スマートメーターから送られる電力量データを用いて宅内のエアコンの動作状況を推定できれば、アメダス等から得られる外気温データを参照して、外気温が高いにもかかわらず、宅内のエアコンが動作していない場合には、熱中症に対する注意を促す警報を発報して熱中症を未然に防ぐシステムを構築できるものと期待される。(図1)

筆者らはこの考えに基づいて、これまでにスマートメーターによって計測される世帯の総電力量から宅内のエアコンの動作状況を推定するシステム(熱中症予防システム)の試作を行ってきた²⁾。しかし、スマートメーターAルートによって得られる積算電力量の粒度には、「0.1kWh」と「0.01kWh」のものがあり、単相3線式の標準的な粒度0.1kWhでは、熱中症予防システムが十分な性能を発揮しない可能性がある。このため、本研究では、粒度「0.1kWh」と「0.01kWh」のデータを整備するとともに、粒度「0.1kWh」のデータに対して粒度補間³⁾を行って「0.1kWh補間」データを整備し、これらを熱中症予防システムに適用することで、「0.1kWh補間」によるシステムの性能向上の可能性を評価した。

2 熱中症予防システムの概要

被見守り世帯の夏のロードカーブと春の平均的なロードカーブ(エアコンが稼働していない季節のロードカーブ)との差分からエアコンの動作状況を推定し、外気温のデータを参照して、外気温が高いにも関わらず、エアコンが動作していなかった場合に熱中症に対する注意を促すシステムである。

3 熱中症予防システムの評価

3.1 評価に用いたデータ

本研究では、実際の独居高齢者世帯の1分毎の総負荷電流値、エアコン電流値を使用している。スマートメーターAルートデータの利用を想定するため、1分毎の電流値から30分電力量を求め、シミュレーションを行っている。データ使用期間は2016年～2018年で、世帯数は2016年と2017年は4世帯(ID1～ID4)、2018年は5世帯(ID1～ID4、ID7)である。外気温はアメダスのデータを用いた。

3.2 粒度補間

粒度補間の概念図⁴⁾は図2に示すとおりである。粒度0.1kWhにおける30分間電力量の測定値を m 、真値を x とすると、真値の存在可能範囲は図2のように表すことができる。30分間電力量は端数を次の30分間電力量値に反映するため、粒度0.1kWhであれば、測定値から+0.1kWhの範囲にのみ真値が存在すると言える。このことから、下限を測定値、上限を測定値+0.1kWhとした、パイプ状のグラフができあがる。そして、そのパイプの中を最短距離かつ最小の折れ数で進む線が、真値に近く、全体の傾向が最もそれらしいという値である。

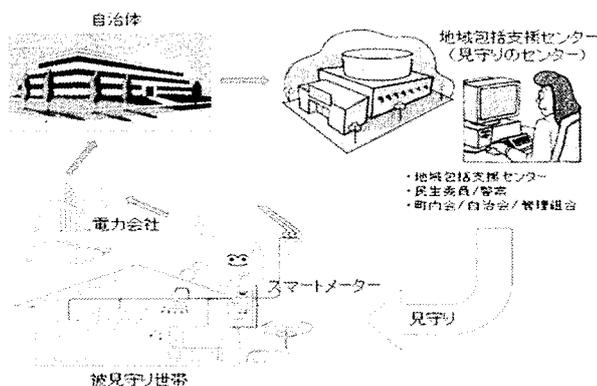


図1 熱中症予防システムのイメージ

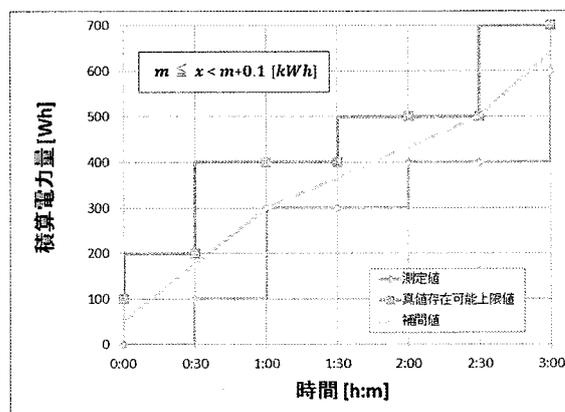


図2 粒度補間の考え方

3.3 評価の実施

エアコンを使用しない春(4月1日~5月31日)の期間について、被見守り世帯の1日のロードカーブの中央値を算出し、その世帯の基準ロードカーブとした。この夏の期間(6月1日~9月30日)の1日毎のロードカーブから基準のロードカーブを差し引き、差分のロードカーブを算出した。差分のロードカーブと定めた閾値との比較からエアコンの動作状況を推定し、この推定結果を実際のエアコン単体の動作状況と比較して推定結果の正解率を求めた。この評価方法を電力量粒度「0.1kWh」、「0.1kWh 補間」、「0.01kWh」の三つのケースに適用した。

なお、エアコンの動作推定のための閾値は、エアコンの動作を判断するために用いた閾値(50Wh/30分)と同じ時間率に対応した差分電力量の値を閾値として採用した。

3.4 評価結果

大量のデータに対して、熱中症予防システムの性能評価を行うために、評価用シミュレータを開発した。シミュレータによるシミュレーション結果の画面を図3に例示する。画面の上段は2日間の外気温度と室内温度の時間推移である。また、下段は当該期間におけるエアコンの推定ロードカーブとエアコンの実際のロードカーブである。

2016~2018年の期間において、粒度「0.01kWh」、「0.1kWh」および「0.1kWh 補間」のデータを整備し、これらを熱中症予防システムに適用し性能を評価した。表1に2018年の粒度別の各世帯の正解率と採用した閾値を例示する。2016~2018年の評価のまとめは以下のとおりである。

- (1) 粒度「0.1kWh 補間」と粒度「0.01kWh」において、エアコン動作推定の正解率を、オン推定、オフ推定ともに概ね90%程度以上とすることができた。
- (2) 評価対象とした世帯において、粒度「0.1kWh 補間」で、エアコンの動作状況(総合・オン・オフ)の推定性能は粒度「0.01kWh」と同等程度にまで向上した。また、粒度「0.1kWh 補間」と粒度「0.01kWh」との間において、推定性能の優劣はつけ難かった。
- (3) Aルートデータに粒度補間を適用することで、国内の標準的なスマートメーターの仕様そのまま、熱中症予防システムを構築できることを確認した。

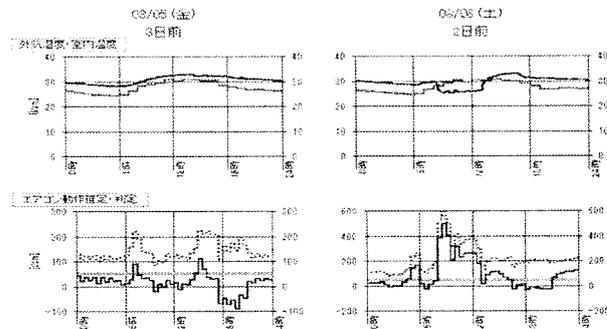


図3 シミュレーションの結果

3 結言

スマートメーターAルートの活用を想定し、独居高齢者世帯を対象とした社会インフラとして安価かつ効率的な見守りシステムの構築を最終目標として、熱中症予防システムの開発を行った。今回、熱中症予防システムのシミュレータを開発し、熱中症予防システムの詳細な分析と評価を可能にした。そして、実際の独居高齢者世帯で収集したデータを用いて、システムの性能に及ぼす電力量粒度の影響を評価するとともに粒度補間法の有効性について評価した。

評価結果から、粒度「0.1kWh 補間」と「0.01kWh」は、同等の性能であることが分かった。このことから、粒度補間法の適用は、熱中症予防システムにおいて有効であることが明らかとなった。これによって、国内の標準的なスマートメーターの仕様そのまま、熱中症予防システムを構築することが可能であると言える。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 「人口動態調査」(2019年11月)
- 2) 中野, 野崎, 上野, 堀田, 野瀬, 野林, 「スマートメーターを活用した高齢者見守りシステムの開発 その2: 熱中症予防システムの試作」, 平成28年電気学会 電子・情報・システム部門大会, OS4-2, 平成28年9月.
- 3) 服部俊一, 篠原靖志: 「スマートメーターからの実需要推定による在・不在判定の精度改善手法」, 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), 137巻9号, pp.1296-1303, 平成29年9月(2017)
- 4) 香取, 中野, 今西, 野瀬, 堀田, 瓦井, 石田, 上野, 「スマートメーターを活用した高齢者見守りシステムの開発 その7: 電力量粒度の補間による性能向上」, 平成30年電気学会 電子・情報・システム部門大会, OS2-1, 平成30年9月.

表1 2018年の粒度別正解率(30℃以上)

世帯ID	0.01kWh			0.1kWh			0.1kWh 補間			閾値 [Wh/30分]
	総合[%]	オン[%]	オフ[%]	総合[%]	オン[%]	オフ[%]	総合[%]	オン[%]	オフ[%]	
01	90	91	89	86	84	87	92	94	91	140
02	91	90	95	92	93	90	94	95	91	70
03	98	99	97	97	97	98	99	99	98	80
04	91	92	91	91	91	91	88	92	88	170
07	90	90	90	89	78	90	90	92	90	170

モード分割多重伝送のための2モード対応ビームスプリッタに関する研究

大学院電気工学専攻 森 琢磨
指導教授 石坂 雄平

1 序論

年々増え続ける通信トラフィックに対応するため、波長分割多重(WDM)技術やデジタルコヒーレント技術などを用いて光ファイバー本当たりの伝送容量の拡大が進められてきた¹⁾。これら既存の多重化技術の組み合わせでは、伝送容量 100 Tbps が限界であるとされている。そこで近年では、さらに伝送容量を拡大する技術として複数のモードに情報を載せるモード分割多重(MDM)技術が注目されている²⁾。ところで、光ネットワークの基本構成要素に光を等分するビームスプリッタがあるが、既製のスプリッタは一つのモードにしか対応しておらず、MDMを想定する場合は高次モードに対応したデバイスが必要となる。最近、断熱型カップラと Y 分岐導波路を用いた 3dB ビームスプリッタが提案された³⁾。しかしながら、提案されたデバイスは高次モードに対応しているものの、デバイスサイズが分岐部で 750 μm 、全体で 800 μm と大きくなってしまふことが問題であった。そこで本研究では、小型化を目的として、高次モードを含む 2 つモードに対応したビームスプリッタの新たな設計指針および構造を提案する。

2 導波路構造およびパラメータ

2.1 導波路構造

図 2.1 に、本研究で提案する 2 モード対応ビームスプリッタの構造を示す。提案するデバイスは TE_0 および TE_1 モードの 2 モードの光分岐比をそれぞれ 1:1 にして出力することが可能である。図 2.1 (a) および (b) はそれぞれデバイスの全体図および光結合部の断面図を表したものであり、Port1, Port2 は入力ポート、Port3, Port4 は出力ポートである。コアとブリッジには SiN を想定し、クラッドを SiO_2 で囲った埋め込み型導波路を想定している。 SiN および SiO_2 の屈折率をそれぞれ 2.08, 1.45 とし、動作波長は 1550 nm を想定している。従来研究のビームスプリッタは 2 つの導波路が近接している単純な構成であるが、本研究で新たに提案する構造では、2 モードの分岐を可能にするために分岐長を調節するとともに、デバイス長を短くするためにブリッジ領域を設けている。

2.2 導波路幅の決定

2 つのモードが存在できる導波路幅を設定するためにコアが 1 つの光導波路を想定し、コアの高さを 400 nm とし、コア幅 W を変化させたときの TE_0 および TE_1 モードの実効屈折率を解析する。図 2.2 に、実効

屈折率 n_{eff} の導波路幅 W 依存性を示す。図より、 TE_0 , TE_1 の 2 つのモードが伝搬するコアの幅はグラフ中の縦の点線間であり、本研究ではコア幅 W を 2.0 μm とした。

2.3 評価方法

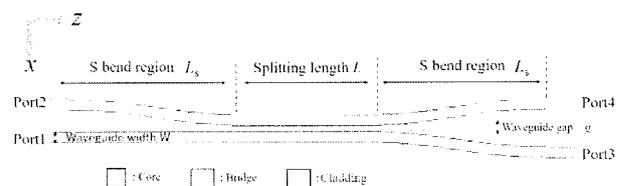
図 2.1 (a) において、Port1 から入射された光は光結合領域 (2 つの直線導波路が近接した領域) の長さ L を変化させることにより、光の分岐比を調節することができる。ここで、入射した光パワーが 2 等分されるまでの長さ L_i は次式で与えられる。

$$L_i = \lambda / 4(n_{\text{eff}1} - n_{\text{eff}0}) \quad (1)$$

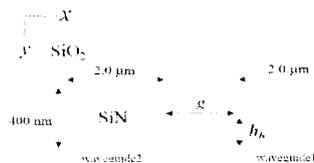
$i = 1$ のときは TE_0 モード、 $i = 2$ のときは TE_1 モードを表わす。 $n_{\text{eff}1}$ および $n_{\text{eff}0}$ は、それぞれ偶モードおよび奇モードの実効屈折率である。一般的にモードによって分岐長が異なり、 TE_0 モードの分岐長が一番長く、高次モードになるにつれ分岐長は短くなる。そのため、2 モード動作を実現するためには次式を満たす必要がある。

$$L_1 = \alpha L_2, (\alpha = 3, 5, 7, \dots) \quad (2)$$

ここで分岐長を短くするために α は小さい方が望ましい。本研究では式(2)を用いた方法で 2 次元ベクトル有限要素法による断面解析を用いて結合ブリッジが無い場合、有る場合における結合領域の分岐長評価を行う。次に、2 次元有限要素法を用いた回路全体解析による透過率の分岐長依存性の評価を行う。



(a) 全体図



(b) 結合部の断面図

図 2.1 ブリッジ導波路に基づく 2 モード対応スプリッタの構造図

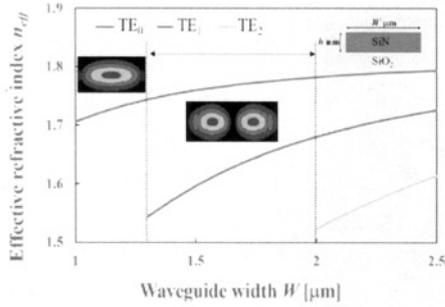


図 2.2 実効屈折率の導波路幅依存性

3 解析結果

図 3.1 および図 3.2 に、断面解析による結合ブリッジが無い場合およびブリッジの高さ $h_b = 80 \text{ nm}$ とした場合における分岐長の導波路間隔依存性をそれぞれ示す。ここで、 L_1 , L_2 はそれぞれ TE_0 および TE_1 モードの分岐長を表し、 $3L_2$, $5L_2$ はそれぞれ L_2 を 3 倍、5 倍した値を表している。図 3.1 より、ブリッジが無い場合は、 $a=5$ で式(2)を満たすことがわかる。このとき、 TE_0 および TE_1 モードは同時に 3dB 動作し、図 3.1 より分岐長は $121 \mu\text{m}$ である。図 3.2 より、ブリッジを挿入した導波路の分岐長は $103 \mu\text{m}$ であり、ブリッジ構造を採用することで小型化が可能であることがわかる。

次に、図 2.1 (a) に示す構造に対して有限要素法を用いた回路全体解析を行った。図 3.3 に $h_b = 80 \text{ nm}$ のブリッジを挿入した回路において Port1 から光を入射した場合における透過率の分岐長依存性を示す。図 3.3 より $a=5$, $L = 94.6 \mu\text{m}$ (図では点線部) で式 (2) を満たしていることがわかる。このとき L_s は $37 \mu\text{m}$ でありデバイス全体のサイズは $168 \mu\text{m}$ となった。

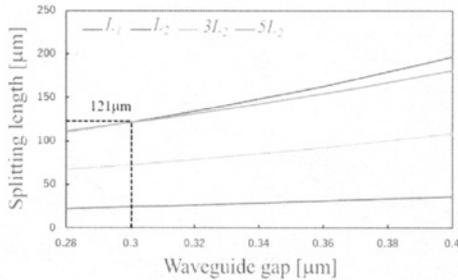


図 3.1 分岐長の導波路間隔依存性 (ブリッジ無)

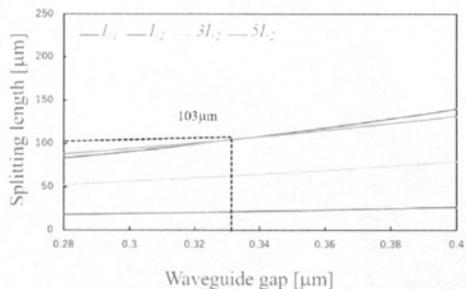


図 3.2 分岐長の導波路間隔依存性 ($h_b = 80 \text{ nm}$)

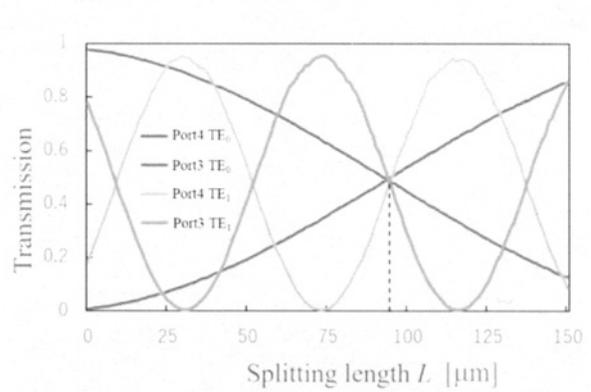


図 3.3 透過率の分岐長依存性 ($h_b = 80 \text{ nm}$)

4 結論

本研究では、MDM を想定した 2 モード対応ビームスプリッタの設計を行った。まず、導波路幅を広くとることによって導波モードが拡張可能であることを示した。断面解析による設計では、式 (2) を用いて分岐長を決定することにより、導波路間隔 $g = 0.30 \mu\text{m}$ 、分岐長 $L = 121 \mu\text{m}$ のとき 2 モードの同時分岐が可能であることを示した。さらに、導波路間にコアと同じ材質で構成された高さ $h_b = 80 \text{ nm}$ の結合ブリッジを設けることにより、導波路間隔 $g = 0.33 \mu\text{m}$ のとき分岐長 $L = 103 \mu\text{m}$ が得られ、ブリッジを設ける前と比較して $18 \mu\text{m}$ 小型化できることを示した。次に、入出力部の S 字導波路を含めたブリッジ構造における回路全体解析では、 $g = 0.39 \mu\text{m}$ のときに $L = 94.6 \mu\text{m}$ 、S 字導波路の長さ $L_s = 37 \mu\text{m}$ となり、デバイス全体のサイズとして $168 \mu\text{m}$ が得られた。なお、断面解析の場合と分岐長が異なっているのは分岐部の前後で S 字導波路同士の弱い結合が原因である。本研究により得られたデバイスサイズは従来構造³⁾の約 1/5 倍であるため、提案構造は小型化に有効であるといえる。

参考文献

- 1) Q. Fang, T. Liow, J. Song, K. Ang, M. Yu, G. Lo, and D. Kwong, "WDM multi-channel silicon photonic receiver with 320 Gbps data transmission capability," *Opt. Express*, vol. 18, no. 5, 2010.
- 2) D. Dai and J. E. Bowers, "Silicon-based on-chip multiplexing technologies and devices for Peta-bit optical interconnects," *Nanophotonics*, vol. 3, no. 4-5, pp.1-29, 2014.
- 3) L. Han, B. Kuo, N. Alic, and S. Radic, "Ultra-broadband multimode 3dB optical power splitter using an adiabatic coupler and a Y-branch," *Opt. Express*, vol. 26, no. 11, pp. 1-10, 2018.

高レートパルス状電気刺激によるニューロンモデルでの 閾下刺激の伝達強化

電気工学専攻 森 亮介
指導教授 箕 弘幸

1. 研究背景・目的

脳深部刺激療法 (DBS: Deep Brain Stimulation) は、パーキンソン病や本態性振戦、うつ病などの脳神経疾患に対して効果的な治療法である¹⁾。その治療法は、脳内に外科的手術を経て埋め込んだ電極よりその対象部位に対してパルス状電気刺激を印加することによって、神経の異常な活動を制御し、症状を緩和させる。これまでは、電気刺激を与える対象部位に関してや、パルス状電気刺激波形を特徴づけるパルス振幅やパルスレートの神経活動への影響について、調査が進められてきている。

一方で、閾値を持った非線形システムにおいて、閾値未満の微弱な信号が不規則なゆらぎの印加によって検出される現象、確率共振現象が存在する。確率共振現象は、物理学や生物学などの領域で見出されている。中枢神経系では、Stacey らによって、ラットの海馬 CA1 領域のニューロンにおいて、確率共振現象が観測されている²⁾。海馬は、歯状回 (DG: Dentate Gyrus)、アンモン角 (CA: Cornu Ammonis; CA3, CA1)、海馬台 (Subiculum) などの領域に分けられ、海馬の各領域と嗅内皮質の領域間で情報が繰り返し循環することで、記憶が保持されていくのではないかと考えられる。そのため、記憶が保存される初期段階では信号は閾値未満であり、徐々に記憶が定着していく過程で不規則なゆらぎが微弱な信号の検出を強化していくことが考えられ、確率共振現象が記憶の定着に重要な役割を果たしていることが想起される。

我々の研究グループでは、確率共振現象が観測されるときの不規則なゆらぎの代わりに、DBS の治療法でも用いられているパルス状電気刺激を適切なパルス振幅、パルスレートで印加することによって、閾値未満刺激の情報伝達が改善されるのではないかと、という仮説に基づき調査を進めてきている。2013年に、単一の CA1 ニューロンモデルを用いた計算機シミュレーションによって、パルス状電気刺激が閾値未満刺激の情報伝達を改善することが報告されている³⁾。2018年には、閾値未満の興奮性シナプスで環状に結合した循環型ニューロンモデルにおいても、閾値未満刺激の情報伝達が強化されることが報告されている⁴⁾。しかしながら、この循環型ニューロンモデルでは軸索が存在しておらず、細胞外から電気刺激が印加された際に軸索起始部でスパイクが発火しやすいことから、軸索を含めたニューロンモデルで同様の性質が観測される

かどうかは必ずしも自明でない。

本研究の目的は、閾値未満の興奮性シナプスで環状に結合された4つの軸索を含んだ錐体ニューロンモデルに対して、外部電極より低振幅のパルス状電気刺激を印加することによって、閾値未満の興奮性シナプス電流刺激の伝達が強化されるかを計算機シミュレーションを用いて調査する事である。また、ニューロンモデルの細胞体におけるスパイク発火の時間間隔を用いて、海馬の各領域間で情報が循環し記憶が保存されていくが如く、スパイク発火の循環が観測されるような、パルス状の電気刺激波形のパラメータを調査する事である。

2. 理論

2. 1. 循環型ニューロンモデル

本研究で用いる循環型ニューロンモデルは、4つの錐体ニューロンモデルが閾値未満の興奮性シナプスで環状に結合されたモデルである (図1)。錐体ニューロンモデルは、77個のコンパートメントからなるマルチコンパートメントモデルであり、軸索の終末部が活性化すると閾値未満興奮性シナプス電流が次のニューロンへ流入する。本研究では、パルス状電気刺激を印加するための外部電極は、各ニューロンの軸索中央部より 1.0 mm 離れた場所へ位置するものとした。初期入力として、 $I_{signal}(t)$ は POP[1] の 24番コンパートメントのみに印加した。

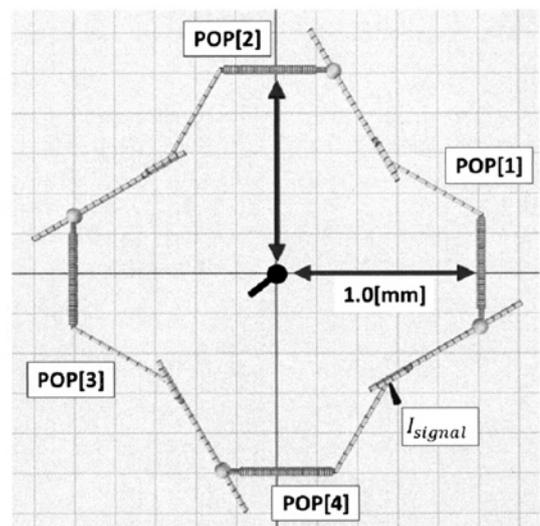


図1 循環型ニューロンモデル

3. 方法

計算機シミュレーションを用いて、循環型ニューロンモデルに対してパルス状電気刺激 $I_{pulse}(t)$ のパラメータ（振幅、パルスレート）を変化させながら与えてゆき、POP[1]の細胞体における平均スパイク間隔を評価することで、スパイク循環が発生する各パラメータの最適値を見つけて行く。シミュレーション時間は10.0 s、刻み幅は2.0 μ sとする。

本研究では、初期入力として、 $I_{signal}(t)$ をPOP[1]の24番コンパートメントのみに印加した。初期入力 $I_{signal}(t)$ は、 $I_{AMPA}(t)$ と同じ波形であり、その振幅は30.0 nAに固定されている。その入力時刻は、5.0～20.0 msの範囲で変化するものとし、入力時刻に依存した結果とならないようにした。平均スパイク間隔を算出する為に、1セット毎に、 $I_{signal}(t)$ の入力時刻を変化させ、1セットあたり試行回数を5回とし、20セット繰り返しシミュレーションを行った。

4. 結果および考察

パルス刺激のパラメータ（振幅とレート）とスパイク循環周期の関係を調査する為、パルス振幅とレートを変化させた際のPOP[1]における平均スパイク間隔を求めた（図2）。図2において、スパイク循環が生じない場合、スパイク間隔が0.0 msとして表されている。パルスレートを上昇させてゆくとスパイク循環が生じ始め、更に上昇させると、平均スパイク間隔が短くなる傾向が見られた。またパルス振幅が上昇するにつれて、スパイク循環が生じる為に必要なパルスレートが低下する事が示された。

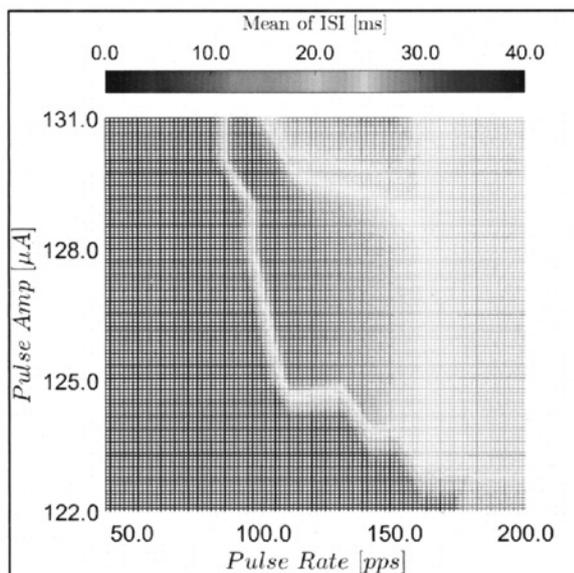


図2 POP[1]のsomaにおける平均スパイク間隔
縦軸はパルス振幅、横軸はパルスレートを示している。
平均スパイク間隔は上部のカラーバーに対応したヒート
マップで表現されている。

この結果より、適切なレートに設定したパルス刺激を印加する事で、細胞体の閾値が低下し、閾下刺激がスパイクを発生させ、スパイク循環が惹起されるのではないかと考えられる。

5. まとめ

本研究では、閾値未満の興奮性シナプスで環状に4つ接続された、軸索を含んだ錐体ニューロンモデルのネットワークにおいて、適切なパルスレートのパルス状電気刺激が、閾値未満の微弱な刺激の伝達が強化され、スパイク循環を惹起するかを調査した。計算機シミュレーションより、パルスレートが50.0～80.0 pps程度の低い時、スパイクは発火せず、パルスレートが100.0～130.0 ppsのときに規則的なスパイク循環が観測され、引き続きパルスレートが上昇していくと不必要なスパイクが発火することが示された。このことは、パルスレート依存性の共振現象が観測されたことを意味し、確率共振現象が観測されるときに不規則なゆらぎの代わりに、適切なパルス状電気刺激を印加することによって、閾値未満刺激の情報伝達が改善されるのではないかとという仮説を支持している。また、不規則なゆらぎがスパイクの循環を惹起させ、記憶の定着に重要な役割を果たしていることが想起されるゆえ、パルス状電気刺激も同様な役割を果たすのではないかと期待される。

参考文献

- 1). L. Pycroft, J. Stein, and T. Aziz, "Deep brain stimulation: An overview of history, methods, and future developments", *Brain and Neuroscience Advances*, vol.2, pp. 1–6, 2018
- 2). W.C. Stacey and D.M. Durand, "Stochastic resonance improves signal detection in hippocampal CA1 neurons", *J Neurophysiology*, vol.83, pp 1394-1402, 2000
- 3). D.M. Durand, M. Kawaguchi, and H. Mino, "Reverse stochastic resonance in a hippocampal CA1 neuron model", *Proceedings of 35th Ann Int'l Conf of the IEEE Eng in Med and Biol Soc*, Osaka, 2013
- 4). 森 亮介, 箕 弘幸, "高レートパルス状電気刺激による循環型ニューロンモデルでの閾値未満シナプス電流刺激の伝達強化", *生体医工学* vol.56, No.4, 2018.
- 5). G. Kang and M.M. Lowery, "Effects of antidromic and orthodromic activation of STN afferent axons during DBS in Parkinson's disease: a simulation study", *Frontiers in COMPUTATIONAL NEUROSCIENCE*, vol.8, No.32, 2014

RELIGIOUS AND MULTIFAITH ARCHITECTURE

(Comparison and Elemental study of Religious and Multifaith Architecture)

建築学専攻 イクラ サリーム
指導教授 柳澤 潤

1. INTRODUCTION

Rising incidents of religious racism is an increasing concern in the diversely growing world of today, therefore seeking the solution of such issues is a necessity. This study highlights the architectural contribution to that issue with the existing theory of multifaith spaces (=MFS below). The purpose of this research is to investigate the correlation between religious architecture characteristics and how such similarities may have contributed to the possibility of the combined worshipping places. (i.e multifaith spaces). As the base of references, the study presents the religious architectural characteristics and find the common set of principles among distinctive worshipping spaces. Furthermore examining the current state of multifaith architecture to expand the knowledge of such spaces, using the illustrative case study method, which also gives an architectural vocabulary to the "multifaith spaces" that were not mentioned in the previous studies.

1.2 Multifaith Space Definition

Multifaith space does not have any clear set of standards or a clear definition, however, it is a space which is designed to offer religious purposes to the various people with distinct belief. MFS is not defined by any religious group or organization which promotes the idea, there is some scholarly research that discusses the meaning of it[1]. MFS in this thesis is defined as a place that should provide for everyone regardless of their backgrounds, for the tolerance and respect for different faiths, hence conveying a message through such space that no belief system or human is superior to another.

1.3 Objectives

The purpose of this research is to study the common elements/characteristics of religious architecture, therefore using the results of this research to design the multifaith architecture of the future. This research aims to expand the multifaith idea among architects to create a neutral combined worshipping space for people with variant cultural backgrounds. A detailed analysis of each religious characteristic could be useful for the MFS since multifaith architecture is designed to fulfill the worshipping needs of large number of users.

1.4 Limitations

According to Adherents, an independent non- religious affiliate organization, since there are roughly 4300 religions in world so it would be difficult to cover all the religious architecture characteristics in this research. Therefore, this research would be limited to religions that cover approximately 70 percent of the world population. The research studies particularly 7 religious architectural design guidelines characteristics are studied, which are Islam, Christianity, Judaism and Sikhism, Hinduism, Taoism, and Shintoism.

1.5 Method

The methodology includes a literature study using the different religious architecture guidelines for designing and its characteristics/elemental study. The illustrative case study is conducted in order to get an idea of how the multifaith spaces are designed and to show the diversity of MFS.

Table A. Arranged and Categorized Characteristics List

Characteristics	Architecture	Muslim	Christain	Judaism	Sikhism	Hinduism	Taoism	Shintoism
		MOSQUE	CHURCH	SYNAGOGUE	GURDUWARA (Sikh Temple)	MANDIR (Hindu Temple)	Taoist Temple	JINJA (Shinto Temple)
1.Prayer Hall		Haram(Main prayer hall)	The Gathered Assembly Area or Sanctuary	Prayer Hall (Segregation)	Prayer hall	Mandapa(The Front Porch)	rooms to chant scriptures	Worship Hall (Haiden)
2.Architectural Form			The Church Edifice (recognizable design)		Temples (domes)	The Dome and Steeple	upturn eaves roof	kirizuma
3.Approach	portal, Iwan (entrance),approach		Gathering Space or Narthex		Four entrances	(Stairs approach)	Three gates at the entrance,Approach/Nature Environment, (stairs)	Stone stairs (Approach)
4. Liturgical Art, iconography, Figures			Liturgical Art, Iconography, Statues and Shrines	Menorah, Ner Tumid	Guru Granth Sahib(iconography)	(diety, statue),temple hall decorated with paintings of gods and goddesses	murals, sculptures , Symbols	Guardian lion-dogs, Sessha/massha (small shrines)
5. Water Element	Washing facilities (water)		The Baptistry (font)	Mekrah		The Reservoir (water)		Fountain
6. Direction	Qibla direction, (Mihrab)			Ark (direction)		Cardinal directions	Axis	
7.Altar			The Altar	Bimah	(Guru Granth Sahib, altar)	(altars)	altars to pray at	
8. Passage (Courtyard)	Congregational area (courtyard), (approach)					The Temple Hall	Courtyard	(Pathway (Sandō)
9. Exterior Symbol	Minaret (symbol), portal		Bell tower, The Crucifix (symbol)		Nishan Sahib (flagpole) , symbol			Torii gate (symbol), Torii
10. Decoration	Decoration			Ornamentation		Vastu-purusa-mandala (geometrical design)	Decorations	
11. Site Selection						Site selection	Nature Environment	(Nature environment)
12. Geometric order						Vastu-purusa-mandala (geometrical design)	Feng Shui	
13. Hierachy						(Hierarchy	Hierarchy	
14. Sanctuary for Deity						The Inner Chamber	Main Sanctuary	Sanctuary (Honden)
15. Light	Natural Light			Natural light (lights from above)		the interaction of sunlight and shadows		
16. Pulpit	Minbar (pulpit)		Pulpit	Pulpit				
17. Floor Covering	Floor covering				Floor Covering			
18. Sanctuary rail			Communion (altar) rail					Tamagaki (fence surrounding the honden)
19. Guardian Office	Maqsura							Shamusho (guardian office)

2. COMPARISON OF RELIGIOUS CHARACTERISTICS / ELEMENTS

2.1 Listing of Religious Characteristics/Elements

The similar characteristics/elements from the design guidelines were analyzed using the literature [1][2] and listed, re-arranged and categorized in a list (Table A). By doing so, 19 common characteristics/elements were found. The characteristics/elements in the re-arrangement list were put inside the list if two or more similar elements/characteristics were found that were extracted from the religious architecture design guidelines. Furthermore, similar characteristics were put together into the list of the key characteristics. (Table A)

2.2 Visualization of Design Characteristics

The religious common characteristics/elements were visualized for a better understanding of the position and space. Even though each of the 7 religions has different belief systems, religious history, and architectural floor plans, the unexpected result shows how each religion had two or more architectural elements that can be seen in other religious spaces as well. (Table B)

Table B. Visualized list of Design Characteristics

	Muslim Mosque	Christian Church	Jew Synagogue	Sikhism Sikh Temple	Hinduism Hindu Temple	Buddhism Buddhist Temple	Shintoism Shrine/Shinto
Approach (Entrance)	Fig.1	Fig.2		Fig.3	Fig.4	Fig.5	Fig.6
Passage (Courtyard)	Fig.7	Fig.8		Fig.9	Fig.10	Fig.11	Fig.12
Orientation	Fig.13	Fig.14	Fig.15	Fig.16	Fig.17	Fig.18	Fig.19

3. MULTIFAITH ARCHITECTURE ANALYSIS

3.1 Multifaith Space Analysis

Several examples of MFS around the world were discussed and divided into two categories of “purpose-built MFS” and “non-specific MFS”. The list of spaces was made accordingly. After examining several examples of MFS around the world, two categories for MFS and 3 types of multifaith settings were analyzed and made into a picture list (Table C).

3.2 MFS Illustrative Case Study and Results

The case is conducted to get the state of current multifaith spaces is two types of settings. The religious characteristics and considerable characteristics analyzed by the author were examined with two of the “purpose-built MFS”, which are “The Prayer and Meditation room in The United Nations” and “Interfaith Peace Chapel” designed by architect Phillip Johnson. spaces. (Table D) Besides religious and suggested considerable characteristics, 9 unique characteristics were found in the two places. As a result, 8 common characteristics in total were also found that are present in the two spaces.

Table C. Visualized list of Design Characteristics

Category	Purpose-built MFS		Non-specific MFS
	Attached to Secular Buildings	Individual Multifaith Spaces	Religious Buildings with Multifaith Setting
Setting			
Type	Multifaith Room	Multifaith Center	Multifaith Area/ Room / Center
①	 (1)	 (13)	 (21)
②	 (7)	 (12)	 (22)
③	 (9)	 (17)	 (23)

Table D. Multifaith Spaces Analysis Result

No.	Multifaith Room	Multifaith Center	Unique Characteristics of Two Spaces	Common Characteristics of Two Spaces
	United Nations Meditation and Prayer Room	The Interfaith Peace Chapel		
1	Prayer Hall	Prayer Hall	Artificial Light effect	Prayer Hall
2	Altar	Architectural Form	Abstract Painting	Altar
3	Floor Covering	Orientation	Darkness	Accessible Location
4		Altar	Half bare and half carpeted floor	Neutral Interior Design
5		Approach	Void	Minimum Religious symbols
6		Site Selection	No windows	Artificial Light effect
7		Natural Light	Sacrificy	Void
8			Fully Vacant Room	No windows
9	Accessible Location	Accessible Location	Meeting Room	
10	Neutral Interior Design	Considerable Size		
11	Minimum Religious symbols	Natural Elements		
12		Neutral Interior Design		
13		Neutral Exterior Design		
14		Interior Shape		
15		Flexible Furnishing		
16		Minimum Religious symbols		
17		Storage		
18	Artificial Light effect	Void		
19	Abstract Painting	Sacrificy		
20	Darkness	Fully Vacant Room		
21	Half bare and half carpeted floor	Meeting Room		
22	Void	No windows inside sacred area		
23	No windows	Artificial light effects		

4. CONCLUSION

By analyzing different religious architecture characteristics, this thesis has shown how exclusively diverse belief systems could have familiar precepts and architectural terms. Also reviewing how such similarities may have contributed to the possibility of shared praying places around the world. This study inscribed the characteristics/elements that might be considered in designing such spaces. Not all the religious architecture characteristics were present in the studied MFS. however, they might also be appreciable if integrated into the MFS, such as the courtyard, etc. The study also stated the need for a designing solution that makes it reasonable to assimilate necessary characteristics/elements for individuals worshipping within a smaller space setting as well. Also given an architectural vocabulary to the “multifaith spaces” that were not mentioned in the previous studies. The approach provides new extensive insight that could be valuable in the designing of the future neutral worshipping places. Based on these conclusions, practitioners may consider and implement brought up MFS characteristics in the making of multifaith architecture, however not all the mentioned characteristics/elements are expected to be present. The combination of raised characteristics could also be tested.

References

- [1] Crompton, A. (2013). The architecture of multifaith spaces: God leaves the building. The Journal of Architecture 18:4, 474-496.
- [2] Pickard, Q. (2005). The Architects' Handbook.
- [3] Stegers, R. (2008). Sacred buildings: A design manual.

ALC 鉄骨造の低層住宅における排水システムの排水性能評価と設計手法に関する研究

建築学専攻 大場 涼太
指導教授 大塚 雅之

1 はじめに

現在、日本における一般的な ALC 鉄骨造の戸建住宅用排水システムの住戸内排水横枝管の設置方法は、床下配管とするのが主流だが、現状の排水横枝管システム(従来方式)は、排水横枝管が大口径のため構造上、鉄骨梁を貫通させて施工することが困難である。よって、表 1 の様に梁をかわして配管を行っているが、排水性能や汚物の搬送性能・詰り具合、通気方法は検証されていないため、設計及び施工方法は確立されていない。本研究では、従来方式である梁下型排水横枝管システムの排水性能把握及び通気方法を検討する。

2 実験概要

2.1 供試排水システム

前述の梁下型排水横枝管システムの系統図を図 1 に、配管平面図を図 2 に示す。なお、その途中に 90°落とし込みを設けた。同システムは、一般的な戸建住宅の 2 階に大便器、台所流し、洗面器、浴槽、洗濯機を配置した合流式である。また、排水横枝管と器具排水管の接続継手は DT 継手とした。なお、各部位の管径及びこう配は図 1、図 2 中に示す。さらに、通気方式の検討を行うため、排水横枝管の上流側と下流側に管径 40A 通気管用の通気弁を設置し、表 2 に示す通気パターンに応じて開閉を行う。本研究に使用した通気弁の通気特性を図 3 に示す。同図中に通気管内圧力 P と管内風速 v の実験値より算出した通気抵抗係数を示す。

2.2 供試衛生器具概要

図 4 に本実験に用いた各供試衛生器具の器具排水特性を示す。それらを用いた排水負荷パターンを表 3 に示す。同表中の排水負荷パターンにおいて、No.1~No.8 は上流から順次合流台数を増やすパターン、No.9~No.11 は実際の生活を想定したパターンである。また、No.12~No.15 は大便器の汚水系統と、その他雑排水系統の分流を想定した。排水負荷パターン No.1~No.5、No.9~No.11 では、大便器排水時にベターリビング基準の供試代用汚物 BL²⁾より排水負荷の大きい供試代用汚物 D' (トイレットペーパー1m×6 枚(ダブル仕様))³⁾を投入し、排水を行った。

2.3 測定項目及び判定基準

測定項目は、①排水横枝管管内圧力の内で最大・最小となるシステム最大値 Ph_{max} と最小値 Ph_{mix} 、②供試排水トラップ(大便器、洗面器、浴槽、洗濯機)

表 1 ALC 鉄骨造戸建住宅の排水横枝管概要

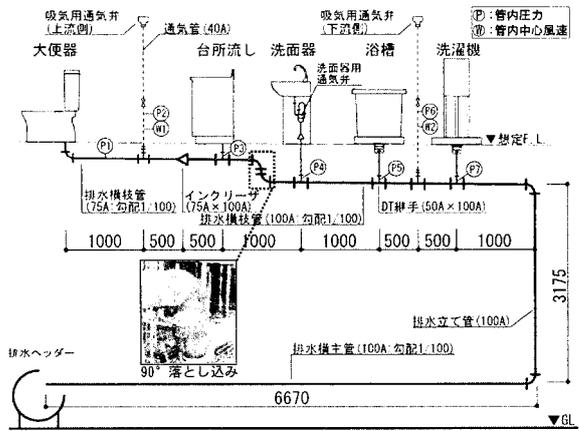
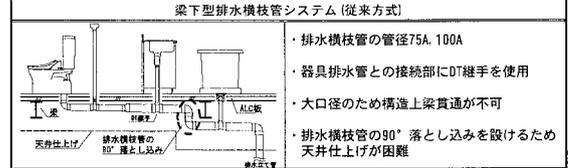


図 1 供試排水横枝管システム系統図

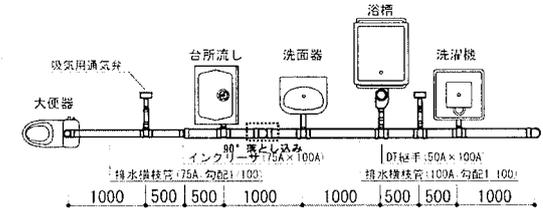


図 2 供試排水横枝管システム配管平面図

表 2 通気パターン

通気条件	通気弁設置位置	
	通気管(上流側)	通気管(下流側)
無通気	×	×
通気管を有効	通気Ⅰ	×
	通気Ⅱ	○
	通気Ⅲ	○
	通気Ⅳ	○

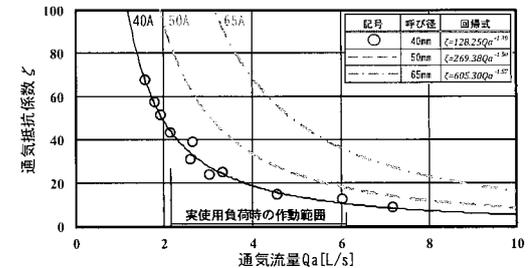


図 3 通気抵抗係数

の封水損失(破封の有無)、③供試代用汚物の搬送距離(汚物の停滞、排水横管への詰り)、④通気管内通気流量の4つとする。また、この①、②は SHASE-S 218⁴⁾に準拠し、以下の判定基準より判断する。

- (1)管内圧力は、±400[Pa]以内
- (2)封水損失は、排水トラップ封水深の 1/2 以内

3 実験結果及び考察

3.1 梁下型排水横枝管システム排水実験

(1) 排水能力影響

図5に排水パターン No.1~No.8 時、図6に排水パターン No.9~No.15 時における通気条件毎の管内圧力値比較を示す。図5より、通気を無効とした通気条件Ⅰでは2器具以上の合流排水にて判定基準値である-400Pa を若干(50Pa 程度) 超える管内圧力が生じた。トラップの破封は無いが、実使用を想定した排水パターン No.9~No.11 時でも約-500Pa の負圧が生じたため、安全性を考慮し、無通気にて使用する際は排水横枝管に2~3 器具まで接続とし、それより器具数が増える場合は汚水・雑排水系統分流とするか通気管を設置する必要がある。そこで上流側通気弁のみを有効とした通気条件Ⅱにて排水した結果、通気条件Ⅰ(無通気)と比較すると管内圧力の約80%緩和が確認された。また、下流側通気弁のみを有効とした通気条件Ⅲでは、約-600Pa と判定基準値を超える負圧が生じ、両方の通気弁を有効にした通気条件Ⅳは通気条件Ⅱと管内圧力は同様の結果となり、効果に差は生じなかった。

よって、施工性や施工費用を考慮すると本システムにおいて最適な通気条件は通気条件Ⅱである。さらに、図6に示す通気条件Ⅰと通気条件Ⅱにて大便器排水を除く雑排水系統排水を行った結果、管内圧力は概ね-100Pa~50Pa 以内であったため、雑排水系統のみで使用する際に問題は生じない。

(2) 搬送性能

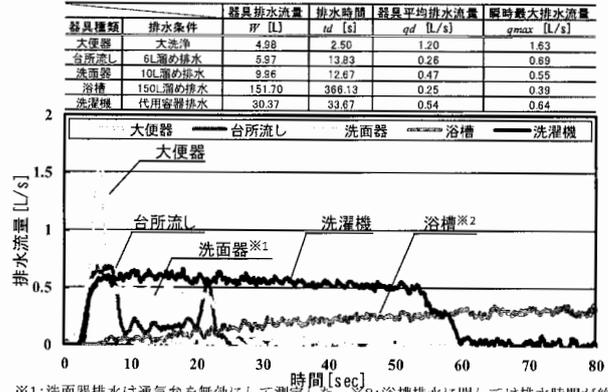
排水横枝管内に汚物が停滞したのは、大便器単独排水(No.1 排水)時だけであったが、通気条件による搬送性能に差異はなく、いずれも排水横枝管の約5m 付近までは搬送された。よって、停滞した汚物は後追いの排水によって排水立て管まで搬送されると推察する。さらに、排水横主管に到達した汚物は、管内に停滞することなく全6.6m ほど排水されるので、その範囲に排水桝を設置することが望ましい。

4 まとめ

梁下型排水横枝管システムの排水性能及び搬送性能を把握した。表4の適用器具数に示す様に、通気方式は、無通気の状態では排水時に-400Pa を超える管内圧力が生じるが、上流側通気管のみを有効とすることで汚水と雑排水を分流することなく、家庭用の5 器具の合流排水方式で対応できる。

【参考文献】

- 張哲 他:排水横枝管通気弁システムの排水能力予測手法に関する基礎的研究 その4 適応管径別の通気弁による排水能力とその予測手法、日本建築学会学術講演会、pp.621~622、(2011.8)
- (一財)ベタリーピング、BLE WC:2018
- 川口俊哉 他:節水型連立トイレシステムの排水特性と搬送性能に関する研究 その1 単独排水時の性能評価、日本建築学会学術講演会、pp.649~650、(2017.8)
- 社会法人 空気調和・衛生工学会規格、SHASE-S 218-2014 「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」



※1:洗面器排水は通気弁を無効にして測定した。※2:浴槽排水に関しては排水時間が約370秒と長いので、実験の際には測定開始より120秒経過した後には排水を停止している。

図4 各衛生器具の排水特性諸値及び排水流量曲線

表3 排水負荷パターン

排水条	衛生器具	供給衛生器具				
		大便器	台所流し	洗面器	浴槽	洗濯機
汚水・雑排水合流想定	No.1	●	-	-	-	-
	No.2	●	○	-	-	-
	No.3	●	○	○	-	-
	No.4	●	○	○	○	-
	No.5	●	○	○	○	○
	No.6	○	○	○	○	-
	No.7	○	○	○	○	-
	No.8	○	○	○	○	-
	No.9	●	-	-	○	○
	No.10	●	-	-	○	○
	No.11	●	-	-	○	○
系統想定流	No.12	-	○	○	-	-
	No.13	-	-	-	○	○
	No.14	-	-	-	○	○
	No.15	-	-	-	○	○

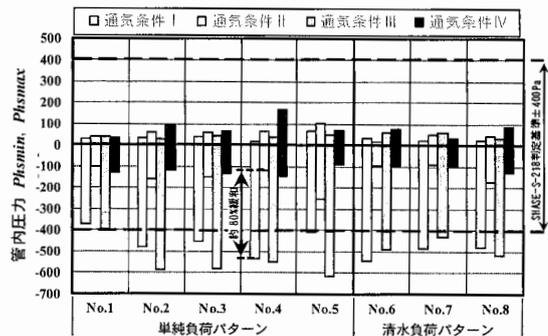


図5 通気条件毎の管内圧力(Phsmin, Phsmax)比較図(単純負荷:No.1~No.5、清水負荷:No.6~No.8)

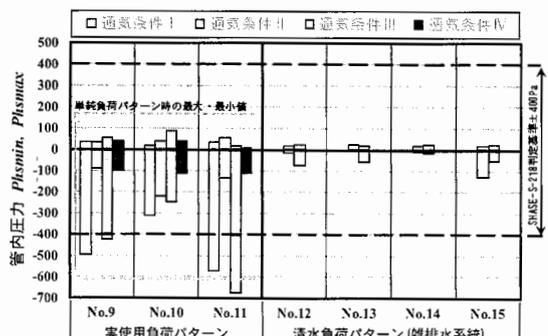


図6 通気条件毎の管内圧力(Phsmin, Phsmax)比較図(実使用負荷:No.9~No.11、清水負荷:No.12~No.15)

表4 通気条件毎の適用器具数

通気方式	梁下型排水横枝管システム(従来方式)	
	通気Ⅰ(無通気)	通気Ⅱ(上流側)
適用可能器具	洗面器 台所流し 大便器	洗面器 浴槽 台所流し 大便器
管内圧力(No.5) Phsmin, Phsmax	-408Pa~66Pa (No.3:-453Pa)	-248Pa~105Pa
判定	△	○
汚物停滞した排水条件	無	No.01:550mm (排水横枝管)
判定基準	○	△

判定基準
 管内圧力
 □: ±400Pa ≤ Phsmin, Phsmax
 △: ±450Pa ≤ Phsmin, Phsmax
 ×: ±450Pa > Phsmin, Phsmax
 搬送距離
 ○: 排水横枝管内完全搬送
 △: 排水横枝管内停滞(5000mm 未満)
 ×: 排水横枝管内停滞(5000mm 未満)

横須賀市中心市街地の都市形成と防火建築帯による 下町地区の整備 (横須賀における耐火建築促進法の適用・三笠ビル建設を例に)

建築学専攻 亀井 泰治
指導教授 黒田 泰介

1 序論

横須賀市中心市街地の戦後における市街地整備や防火建築帯に関しては未だ研究が進んでいない。このため、本研究では、戦後の横須賀下町地区において耐火建築促進法を適用した「三笠ビル」と防災建築街区造成法による「あずまビル」建設の経緯、背景及び建築的な特徴を調査分析し、横須賀市中心市街地における近代的な都市づくりに対する意義を明らかにする。

2 研究対象地区

本研究における横須賀下町地区は、横須賀市大滝町及び若松町の一部とする（図1の網掛け部分）。

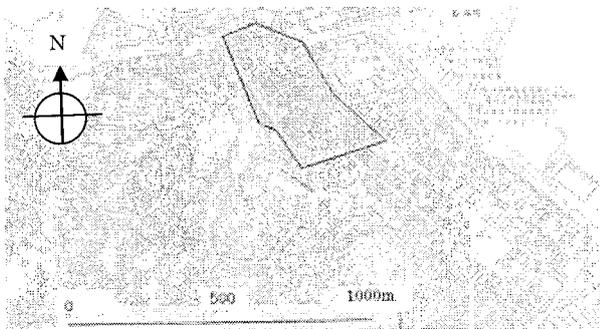


図1 横須賀市中心市街地地図

3 研究の概要

3.1 明治期から昭和前期（終戦まで）の市街地整備

横須賀の近代的な市街地整備は、幕末の横須賀製鉄所建設を機に、海軍が進出したことから始まる。

横須賀市中心市街地は、海軍関連施設の建設に合わせて、沿岸部の埋め立てにより、段階的に整備された。

震災直後の下町地区では、海軍の意向で区画整理法の換地が行われず、狭隘な道路空間が、市街地の中に残存した。「三笠ビル」や「あずまビル」に存在する道路空間も、この時の道路であった（図2）。

横須賀市中心市街地では、太平洋戦争による空襲被害がほとんどなく、健全な都市基盤と米海軍関連の雇用が確保され、急速な復興が行われた。

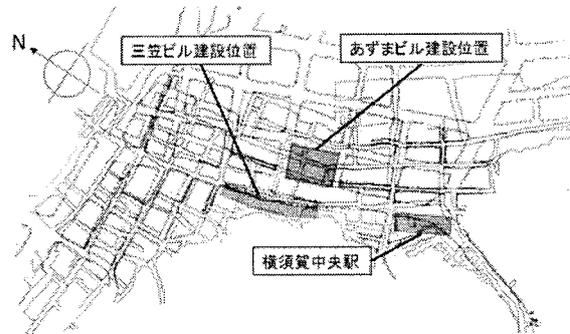


図2 横須賀市中心市街地の街路の変遷（2枚の地図（1903年横須賀市中央図書館蔵と2017年）の重ね合わせ図。網掛け部の道路は現存する震災前の道路）

3.2 耐火建築促進法と各都市の防火建築帯

震災復興期の各都市は、都市不燃化を目指していた。建設省住宅局建築防災課長の村井進は「防火建築帯は都市の延焼防止の観点からの公共公益性がある¹⁾」と理論構築し、1952（昭和27）年5月に、耐火建築促進法が施行された（表1）。

沼津市では、共同化し統一されたファサードを持つ建築と街路が整備された。横浜市では、防火建築帯を「面」として指定し、上層階に県住宅公社のアパートを併設する区分所有の考えも導入された。

表1 耐火建築促進法成立の経過

1947 (S22)	建築学会に都市不燃化委員会設置
1948 (S23)	(社)都市不燃化同盟設立
1949 (S24)	超党派の不燃化促進議員同盟設立
1950 (S25)	国会で都市不燃化促進の決議。建設省「耐火建築助成法案」を上程。予算26億円要求大蔵省と折衝。予算5億円で閣議決定ドッジラインにより法案不成立
1952 (S27)	耐火建築促進法成立 予算2億円

3.3 防火建築帯・三笠ビルの建設

横須賀三笠商店街では、権利者による組合が組織され、道路上のアーケード、外装、電気電話下水設備が共同化された。設計は、今泉善一が代表の日本不燃建築研究所で1959（昭和34）年に完成した。

従前の敷地割を保持する長屋形式で、中には木造建築も残存していたが、アーケードはRC造で、2階も共用通路として計画された（図3）。

統一されたファサードの一部には、従前の敷地割の痕跡を見つけることができる（図4）。

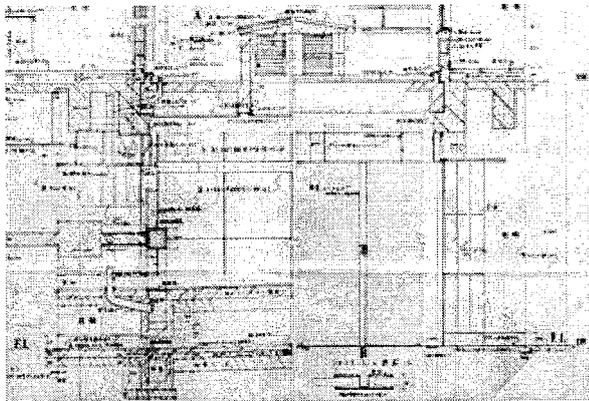


図3 アーケード断面詳細図（設計：日本不燃建築研究所（1958頃）三笠ビル商店街協同組合蔵）



図4 三笠ビル（2018撮影）縁が切れている外壁

3.4 防災建築街区造成・下町地区のビルの建設

耐火建築促進法は1961（昭和36）年に、防災建築街区造成法に代わった。これを受け、横須賀市下町地区では、1966（昭和41）年、街区を単位として、防災建築街区の建設大臣指定が行われた（図5）。

第4区「あずまビル」では、大通り側の店舗の従前の敷地の持ち分を保持し、旧道を施設内に取りこみ、1970（昭和45）年、6つに分かれた複雑な区分所有のビルを完成させた（図6）。

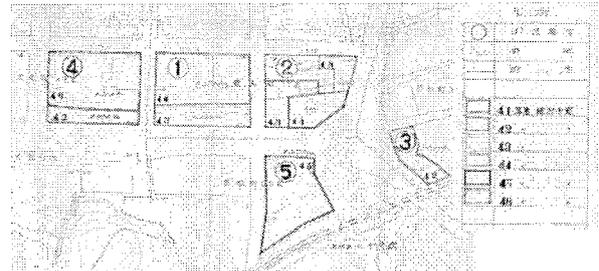


図5 横須賀市防災建築街区予定（1965）横須賀市行政資料より

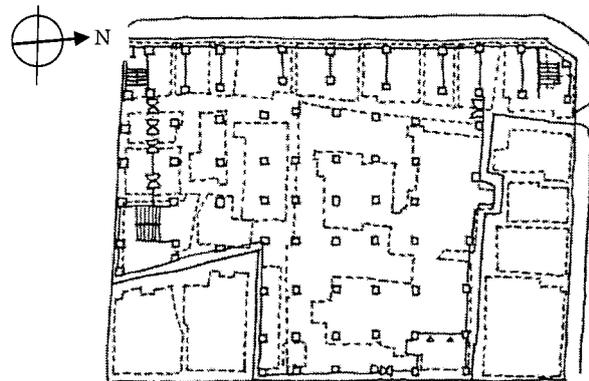


図6 あずまビル1階平面図（点線：従前の建物、実線：従後の敷地と建物）

4 結論

耐火建築促進法と防災建築街区造成法に基づく市街地整備の先駆例や法の変化の過渡期的状況が、横須賀下町地区に展開されていた。そして、これらの法的整備が牽引役となり、横須賀中心市街地の近代的な都市づくりが進められた。

本研究では、二つの建物の調査分析により、法的な都市整備の実態を検証するとともに、建築に内包された都市形成の痕跡を浮彫りにし、二つの建築の都市計画史的な意義を明らかとした。

主な参考文献

- 1) 横須賀市史上巻下巻、横須賀市、1988年
- 2) 北澤猛、福島富士子、横須賀の都市形成1864-1945、横須賀市の都市計画について、横須賀市内近代化遺産総合専門調査報告書第5、6章、横須賀市自然・人文博物館、2003年
- 3) 初田香成、都市の戦後雑踏のなかの都市計画と建築、（財）東京大学出版社、2011年

注

- ¹⁾村井進：耐火建築促進法施行の第1年を終えて、建築雑誌、Vol68、No.801（1953）、p.4.

節水形トイレユニットと簡易横枝通気を併用した 中小規模オフィスビル対応の排水システムの提案とその可能性

建築学専攻 佐藤 奨悟
指導教授 大塚 雅之

1 序論

近年,節水形トイレの普及に伴い,排水負荷が低減し,誘導サイホン作用防止用のループ通気管が削減できると指摘されている²⁾.よって,図1(1)に示す各大便器が床スラブを貫通する施工方法や過剰設計となるループ通気方式の簡素化として,図1(2)に示す節水形トイレユニットと従来のループ通気管を省略し,排水横枝管の最下流から立ち上げた通気管と通気立て管を結合させる簡易横枝通気システムを提案する.次に,トイレユニットシステムの誘導サイホン作用の防止効果と簡易横枝通気システムの排水能力を把握する.最後に排水立て管モデルの負荷流量を求め,提案システムの排水能力と照合させ,提案方式の適用の可能性を検討する.

2. 実験概要及び研究概要

2.1 節水形トイレユニットシステムの概要と誘導サイホン作用確認実験

図2に供試排水横枝管システムを示す.同システムは一般的なオフィスビルで採用する3台連立の大便器ユニットを想定し,設置した.供試大便器の公称洗浄水量は6.0[L],洗浄方式は洗い落とし式,給水方式はフラッシュタンク式とする.誘導サイホン作用確認実験の排水負荷パターンは,大便器①の単独排水及びそれを基準に順次,大便器②,③を加えた合流排水を合わせた計3パターンとする.排水は,清水排水を標準に,供試代用汚物D³⁾を混入した場合でも実施し,排水横枝管上

のP1,P2点に生じる管内圧力変動の測定,トラップの破封の有無の観察を行う.また,同システムの器具排水特性をSHASE-S220に準拠して測定する.

2.2 簡易横枝通気システムの排水能力把握実験

図3に示す排水立て管システムを,地上9階建て,高さ約25mの排水実験用タワーに設置し,実験を行う.通気方式は,通気立て管と各階の排水横枝管の下流部を通気短管で接続する簡易横枝通気システムとする.排水立て管,通気立て管,排水横枝管の管径は100A(実内径103mm JIS-DT継手使用)・こう配1/100,排水横枝管の管径は125A(実内径130mm)・こう配1/150とする.排水横枝管形態はストレート配管を基準とし,全箇所の場合のみ,排水立て管の管芯より1m及び3m位置に水平曲がりをつけて検討を行う.排水負荷は,SHASE-S218に準拠し,合計排水流量が最大10[L/s]になるまで与える.表2に本実験の排水パターンを示す.条件は,排水配管システムと排水負荷階及び,簡易横枝通気管の設置箇所数とする.測定項目は管内圧力とし,各階の排水横枝管に圧力センサを取り付け,管内圧力変動を測定し,全階の最大・最小値(P_{max}, P_{min})を求め,その値が同基準の判定基準±400[Pa]以内となる合計排水流量の最大値を排水能力とする.

2.3 設計検討

3.2で求めた排水能力を提案システムの排水立て管100mmの許容流量値Q_pとみなし,充水率αを求め,式(1)より,そのα値と他管径Dを式(1)へ代入し,各径の許容流量値も求める.これらの数値を3.1で求める器具排水特性値を用い,求めた排水負荷流量と照合させ,提案システムの適用高さの検討を行う.

$$Q_p = \left(\frac{0.35\pi\alpha}{1} \right)^{\frac{5}{2}} \times D^{\frac{5}{2}} \quad \dots \text{式(1)}$$

Q_p: 充水率αの排水流量 [L/s]
α: 充水率
D: 実内径 [m]

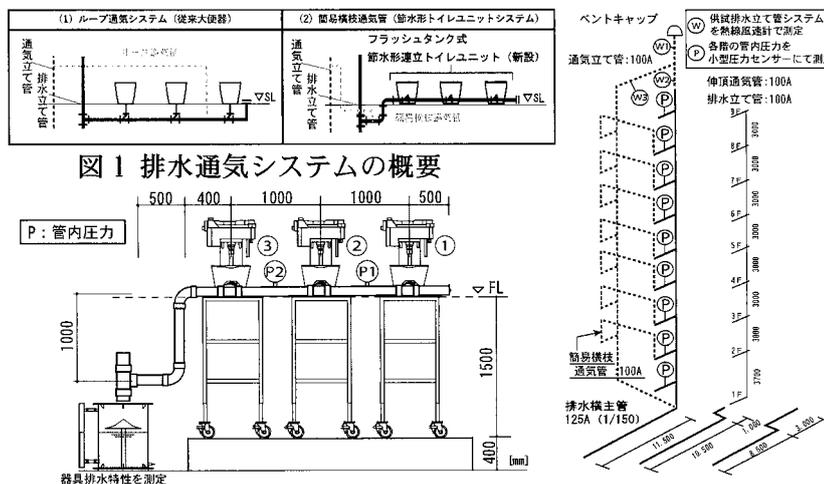


図1 排水通気システムの概要

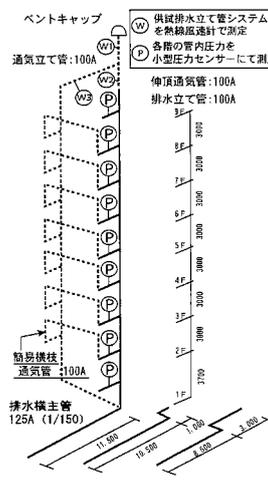


図2 供試排水横枝管システム 図3 供試排水立て管システム

表2 実験パターン

実験番号	排水負荷階			通気階		排水横枝管	
	上層階	中層階	下層階	全箇所	4箇所	3箇所	ストレート
No.1	●			●			●
No.2	●			●			●
No.3		●		●			●
No.4		●		●			●
No.5		●		●			●
No.6		●		●			●
No.7		●		●			●
No.8		●		●			●
No.9		●		●			●
No.10		●		●			●
No.11	●	●	●	●	●	●	●

表3 器具排水特性値

排水パターン	器具排水量 w [L]	排水横枝管接続 平均排水時間 t _d ' [s]	排水横枝管接続器具 平均排水流量 ad' [L/s]	最大器具 排水流量 amax [L/s]
1台単独排水	5.9	12.2	0.29	0.61
2台合流排水	12.1	12	0.6	1.1
3台合流排水	17.9	12.1	0.89	1.63
単独排水 横枝管1[m]	6.28	5.3	0.72	0.85

3. 実験結果

3.1 節水形トイレユニットシステムの器具排水特性の把握と誘導サイホン作用の確認

表3に節水形トイレユニットシステムの器具排水特性を示す。同表より、3台合流排水の q_{max} は、1.63[L/s] となり、これは SHASE-S206 に示す洗落し式大便器1台の $q_d = 1.5$ [L/s] とほぼ同程度であったため、それらの単独排水の q_d 値相当とみなせる。また、図2の P1, P2 点で生じた排水横枝管内圧力変動の最大・最小値を図5に示す。同図より、排水横枝管に生ずる管内圧力は大便器3台の清水合流排水においても管内圧力は ± 100 [Pa] 以内におさまり、供試代用汚物を投入した場合も、 ± 250 [Pa] におさまり、トラップの誘導サイホンによる破封は確認されなかった。

3.2 合計排水負荷流量 Q_w と P_{smin} , P_{smax} の関係

図8に合計排水流量 Q_w と P_{smin} , P_{smax} の関係を示す。同図より、排水横主管ストレート時に全箇所通気の排水能力は最大流量値 10[L/s] 以上を確保できることがわかった。1m 曲がり時の排水能力は、SHASE-S206 に記載されている設計用許容流量 6.7[L/s] の85%程度とみなせる。ただし、最下階の排水は、一般に別系統とするのが主流なので、一階の管内圧力を除けば 10[L/s] までの排水能力を確保できる。次項では、ループ通気管に比べ、簡易的なシステムである簡易横枝通気システムの適用可能範囲を明らかにする。

3.3 排水負荷流量 Q_L と許容流量の照合

図9に計算用配管モデルの排水系統図と配管平面図を示す。また、表4に同図に設置された各衛生器具の器具排水特性諸数値を示す。算定フローに沿って、従来大便器と節水形大便器の負荷流量 Q_L を求め、前項で得られた提案システムの排水能力と照合し、建物への適用範囲を明らかにする。ただし、本報で得た許容流量は管径 100mm のみであるので式(1)に代入し、充水率 α を求め、その値と管径を用い、管径別の許容流量を求める。図10に建物の階数と排水負荷流量の関係を示すと同時に、式(1)によって求めた許容流量も併記する。同図には、表4に示した従来大便器と節水形大便器を用いた場合を比較して示す。また、節水形大便器の負荷流量 Q_L を求める際に使用した T_o を実測⁴⁾ によって得た値に変化させた排水負荷流量も示した。同図より、1m曲がり(全箇所通気)の許容流量 5.0[L/s] では、節水形大便器を用いる場合は7階までの建物に適用可能であるということがわかった。また、同システムを8階建て以上のオフィスビルへ適用する場合、従来大便器では管径 150A の適用となるが、節水形大便器では管径 125A で適用可能となり、1サイズダウンできる。

4. 総括

本報の設計検討により、簡易横枝通気システムの 1m 曲がりを用いた全箇所通気排水システムは従来大便器よりも節水形大便器を設置した建物の方が高い建物に用いることができ、9階建て以上の建物に用いる

場合、従来大便器では管径 150A で適用可能となるのに対し、節水形大便器では管径 125A で適用可能となり、1サイズダウンできることがわかった。以上より、一般建物に対する提案システムの有効性が確認され、適用可能階数を把握することができた。

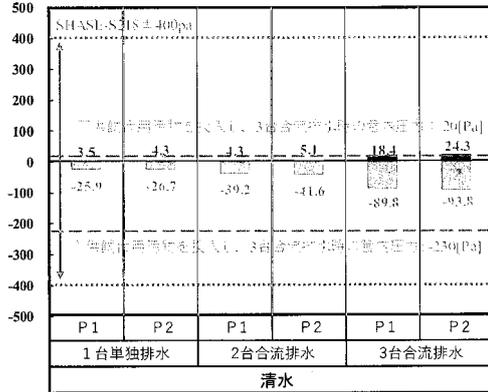


図5 連立トイレユニット排水時の管内圧力

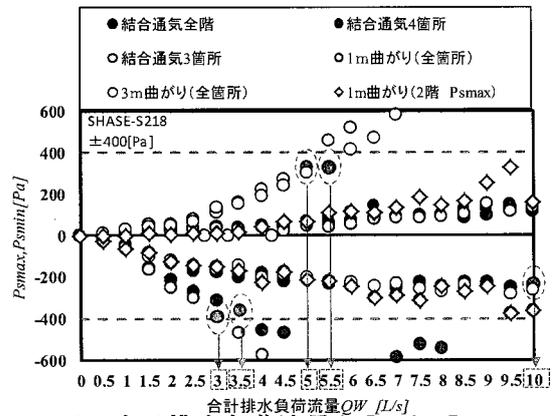


図8 合計排水負荷流量と P_{smin} , P_{smax} の関係

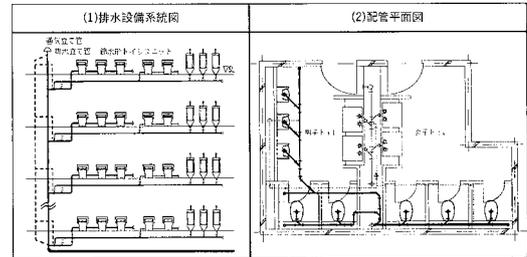


図9 モデル配管 概要図

表4 器具排水特性値と器具平均排水間隔[s]

	計算用配管モデルに設置された衛生器具				
	節水形大便器		従来大便器		小便器
	男子	女子	男子	女子	
器具排水流量 w [L]	6.3	6.3	13	13	4
器具平均排水流量 q [L]	0.75	0.75	1.5	1.5	0.5
器具平均排水間隔 T_o [s]	600 (305)	220 (378)	600	220	130

() 内の数値は実測値⁴⁾を参考 * : 参考文献の節水形大便器を参照

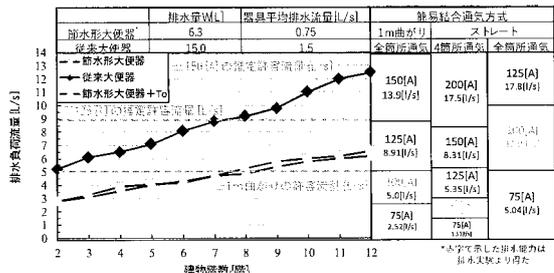


図10 建物の階数別の負荷流量

【参考文献】

- 1) ゼイマックス不動産総合研究所 RESEARCH REPORT. https://soken.symax.co.jp/2020/01/15/1901-stuck_pyramid_tokyo_2019/
- 2) 空気調和・衛生工学会設備基準: SHASE-S206-2009
- 3) 佐藤英樹 他: 「既存中高層オフィスビルのトイレ用排水システムの更新手法の提案と性能検証」 その1 連立トイレユニットの排水性能と結合通気の効果。空気調和・衛生工学会大会学術論文集. pp.117-130(2018.9)
- 4) 佐藤英樹 他: 「オフィスビルのトイレ利用実態の把握と排水負荷測定データの検討に関する研究」。空気調和・衛生工学会大会学術論文集. pp.189-192(2019.9)
- 5) 空気調和・衛生工学会設備基準 SHASE-S206-2009-2009
- 6) 空気調和・衛生工学会規格: SHASE-S 218-2014 「集合住宅の排水立管システムの排水能力試験法」. 2014

横浜駅バスターミナルの研究

(バスターミナルの運用形式・建物形状・空間構成についての研究)

建築学専攻 スリーマン 洋マイケル
指導教授 柳澤 潤

1 はじめに

首都圏の鉄道駅では複数の路線が主要なターミナル駅を中心とした交通ネットワークの形成を行っており、また主要駅周辺の商業開発なども鉄道会社が地域と一体となって、プロジェクトを行うことが多い。駅前広場及び交通ターミナルを計画する際に、都市交通計画の中で計画広さ等の基準が設けられているが、現状では主要駅の駅前広場及び交通ターミナルはどの駅も利用者人数と比較した際に空間的に余裕がなく、現状の利用状況とは合っていない。今後、さらに駅前広場や交通ターミナルをより良い空間としていくためには、バスターミナルを商業施設などと一体化して整備を行い、利用客が時間を有効に使うことができるようにする等、バスターミナルの複合化が行われることが考えられる。

2 研究概要

横浜駅西口バスターミナルは、鉄道空白地帯である横浜市北西部への通勤通学輸送を中心とした数多くの路線バスが設定されている。このような特徴を持った西口バスターミナルのラッシュ時間帯に次々とバスが発着するスピード感や、狭い敷地内で様々な方向に動いていく人の流れ、空間としての過密さは、ターミナル駅としてのダイナミックさを感じることができる。本研究では横浜駅西口バスターミナルと他のバスターミナルの発着台数や空間構成を比較し、横浜駅西口バスターミナルの特徴と現状の使われ方を明らかにすることを目的としている。

2.1 研究対象

今回の分析対象は横浜駅にある西口、東口の2ヶ所のバスターミナルである。また比較対象として首都圏 JR 駅の乗車人員上位 50 位までの駅にある、68 バスターミナルの分類を行い、比較分析を行う。

3 研究方法

本研究では現地を訪れ、調査を行い、その結果をもとにバスターミナル内のバスの運用形式、建物形状、人の動線、建物の囲み感などを、データシートに記入し、分析と考察を行う。

4 バスターミナルの類型化

利用状況と各施設の関係を分析し、類型化を行う。まずバスターミナルの分類として、一方向型か回遊型という車両動線のほかにロータリー内の乗り場に島があるか、歩行者アクセスなどの分類を行う。駅前バスターミナル内でのバスの運用形式は「図 1」のように ① 一方向式、② 一方向式 (島有)、③ 回遊式、④ 回遊式 (島有)、⑤ その他、の 5 種類に分類できる。

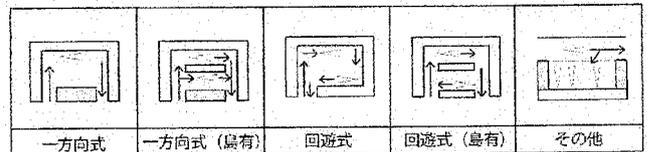


図 1 運用形式によるバスターミナルの分類

またバスターミナルの建物形状は「図 2」のように ① 屋内型、② 高架下型、③ 広場型の 3 つに分類することができる。その他調査対象のリストでは駅の乗車人員、ターミナルの名称、整備年を記載している。上記の方法で首都圏の乗車人員上位 50 位までの駅前バスターミナルの分析を行った。

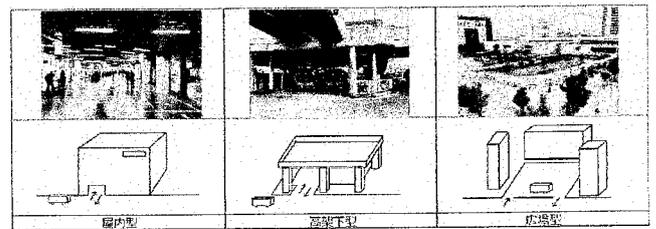


図 2 建物形状によるバスターミナルの分類

4.1 バスターミナルの分類表

バスターミナル運用形式とターミナルの建物形状を重ね合わせたものが「表 1」である。これらの分類の結果、年代によらずいずれの運用形式でも単層広場型のバスターミナルが多いことがわかった。その次に多いのが高架下型のものだが、こちらも一方向式、回遊式に関係なく採用されている。屋内型は最も少ないが、商業施設と一体となった開発の一環として採用されている例が確認された。複層型のバスターミナルでは階段やエレベーター等を使い、のりば階まで移動する必要があるが、階段以外の設備が当初より設けられた例は 1980 年代末期以降に整備さ

表1 バスターミナルの分類表

バスターミナルの形状	島有		島無		島有		島無	
	面積	長さ	面積	長さ	面積	長さ	面積	長さ
島有	1,200㎡	100m	1,500㎡	120m	1,800㎡	150m	2,000㎡	180m
島無	1,000㎡	80m	1,200㎡	100m	1,400㎡	120m	1,600㎡	140m
島有	1,300㎡	110m	1,600㎡	130m	1,900㎡	160m	2,100㎡	190m
島無	1,100㎡	90m	1,300㎡	110m	1,500㎡	130m	1,700㎡	150m

れたものであり、それ以前に整備されたバスターミナルでは追加でエレベーターの導入を行う等の再整備を行ったケースが多い。2000年代以降は法整備が進み、新規整備されるバスターミナルにおいてエレベーターを設置する例が増加している。

5 現地調査の実施と分析

横浜駅西口では1954年に駅前の道路とバスターミナルの整備が行われた。その後1964年に改良が行われ、地下街と直結した3つの島を持つ複層型のバスターミナル形状となった。ラッシュ時は駅周辺の路上に多くのバスが見受けられる。一方横浜駅東口では1985年に駅前バスターミナルの整備が行われ、商業施設内に集約された。また高速バスに関しては隣接して設けられた「YCAT」に集約されている。また現在、横浜駅では東口、西口一体となった再開発が計画されているが、バスターミナルの計画については具体的な計画が決まっていない。



図3 横浜駅周辺図

両ターミナルの面積、のりば長さや発着台数を用いた比較を行った結果、西口バスターミナルが東口ターミナルと比較して、面積は66%しかないが1.5倍の発着台数をさばっている。これは西口がターミナル内のバスの動線を一方向に固定しており、到着後のバスが発着するまでターミナル内に留まらないためだと考えられる。ラッシュ時に関しては、複数のバスの走行軌跡の交わりや、のりば内での人の動線には支障があり、必ずしも満足な状況というわけではない。しかしターミナルの形状が「広場型」であり、上空には余裕があることや、ターミナルを囲む建物がバスののりばから一定の距離を取っており、ある程度の囲み感が存在している。また、バスターミナルの面積とのりば長さの割合については、運用形式に違いがあるが、同程度であることが分かった。

6 結論

各章での調査結果と首都圏各鉄道駅前バスターミナルの比較分析より、横浜駅西口バスターミナルは他の事例と比較し、ターミナルの広さに対する発着本数が圧倒的に多い特徴的なバスターミナルであることがわかった。横浜駅西口バスターミナルは広場型一方向式(島有)の形状で、ジョイナス地下街と一体となり複層型のバスターミナルを形成しているため、基本的にバスの動きと人の動線が交差することはない。しかしバスの運用の量も人の量もすでに限界に達している。特に朝・夕のラッシュ時は発着本数も多く、利用者も多いため人の動きで混乱が生じており、運用上も利用者視点でも満足な状況とは言い難い。一方でバスターミナル上空に空間的な余裕がある広場型を採用している、周囲の建物までの適度な距離を持っている為、適度な囲み感を持っている。以上、横浜駅西口バスターミナルは、運用上ターミナル面積、のりば長さが不足していることや、地下街との連携の複雑さなど、多くの問題点も抱えているが、同時に、交通インフラの持っているスピード感や都市的な空間におけるターミナルそのものの魅力といったものも創出しているという事実がある。この研究は横浜駅をバスターミナルのあり方に言及し、都市における広場型インフラの一側面を浮かびあがらせたにすぎないが、今後さらなる研究によって、都市的な空間や広場など、21世紀型の広場のありかたなどについて研究を重ねたい。

参考文献

- 1) 新宿駅西口広場：坂倉準三の都市デザイン / 新宿駅西口広場建設記録刊行会編著、-- 鹿島出版会、2017.2.
- 2) 東京都 23 区 JR 駅における駅前広場の集合形式 安森亮雄 他 (2008 年, 日本建築学会)
- 3) 駅前広場のバス乗降場の効率的な運用に関する研究：佐々木慧 (2011 年, 運輸政策研究コロキウム)

喫煙空間内空気環境改善を目的とした 縦旋回流型換気システム導入に関する研究

建築学専攻 中平 光俊
指導教授 遠藤 智行

1 序論

我が国における喫煙由来の年間死亡者は、能動喫煙によって約 13 万人、受動喫煙によって約 1 万 5 千人と推計されており 1)、年間 10 万人越えの人命がたばこを原因に失われている。国際がん研究機関 IARC(WHO の下部組織)では、たばこの煙は直接人に吸い込まれる主流煙はもちろん、周辺に及ぼす環境たばこ煙も、明らかな発がん性物質と定義されている。そのため、厚生労働省は、職場の喫煙対策に対するガイドライン 2)を制定し、喫煙室の設置について一定の基準を設けるなど、禁煙化、分煙化が進んでいる。その一方で、喫煙空間では狭いスペースに多くの喫煙者が集まることで、空気環境の悪化が懸念される。そのような背景のもと、喫煙空間からのたばこ煙の漏れ防止や喫煙空間における清掃従事者や接客対応を行う従業員などへの受動喫煙問題により高効率換気システムが提案されている 3)。本研究では、縦旋回流型換気システムを用いた空間に設置される障害物によって、換気効率がどのような影響を受けるか検討を行う。

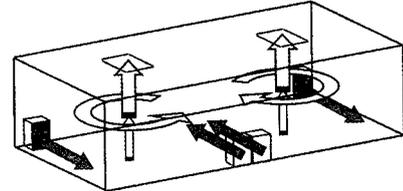
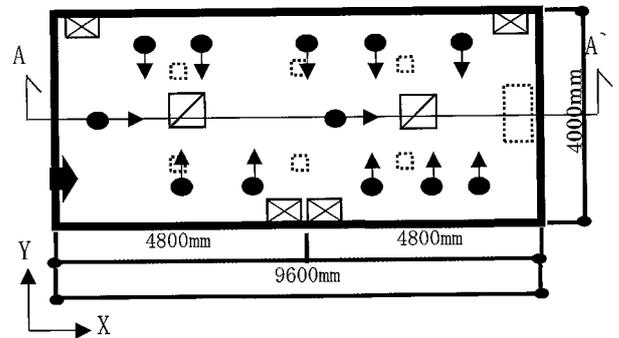


図 1. 高効率換気システム概念図



☒ 床置き型給気 ● 発熱体 呼出煙
☒ 天井排気口 ➡ ドア風量 ☒ 灰皿 ☒ 自動販売機

図 2. 対象空間平面図

2 解析条件

以降に実施する CFD 解析では、妥当性を確認するため、事前に既往研究 3) の再現検討を行い結果が同等であることを確認している。本研究で用いられる縦旋回流型換気システムとは、空間下部から一方向性の強い気流を給気し、鉛直方向に軸を持つ旋回流を発生させ、空間上部で排気を行う換気システムである(図 1)。この換気システムを導入した喫煙空間内に障害物を設置することで、換気効率がどのような影響を及ぼすか検討を行う。検討 Case を表 1 に示し、解析条件を表 2 に示す。発熱体は人体を想定して 1 体あたり 80[W]の発熱とし、喫煙に伴う呼出煙と副流煙(比は 1 : 1)を発生させる。粉塵発生量は 0.0248mg/s となるように設定した。Case1 は障害物無しとし、Case2 では灰皿を設置し、Case3 では自販機を設置する。この計算結果を基に汚染質除去効率 ϵ^c 、居住域汚染質除去効率 $\epsilon_{O_z}^c$ 、局所清浄度指数 ϵ_p^c を用い検討を行う。

表 1. 解析 Case

解析 Case	換気システム	障害物
Case1	縦旋回流型換気システム	なし
Case2		灰皿
Case3		自動販売機 ⁴⁾

表 2. 解析条件

解析領域	9.6m(X)×4.0m(Y)×2.4m(Z)
メッシュ数	162X)×68(Y)×58(Z)=638,928
乱流モデル	標準 k-ε モデル
移流項	QUICK
発熱条件	人体：80W×12 人=960W タバコ：4.3W×12 本=51.6W 自動販売機：450W
粉じんの発生条件	副流煙は人体モデルの前方から発生し、0.001m ³ =0.1m×0.1m×0.1m から濃度 42 (mg/m ³)を与えた。呼出煙は 0.001188m ² の面 0.044m (X)×0.027m (Z) に風速 (0.22m/s) と濃度 42 (mg/m ³)を与え、発生量は 0.0248mg/s とする。
流入条件	床置き型給気口 0.4m(X)×0.4m(Z)×2 個 $U_m=0.35\text{m/s}$ $Q_m=405\text{m}^3/\text{h}$ $T_m=20^\circ\text{C}$ ドア風量：0.2 m(Y)×2.0 m(Z)： $U_{in}=1.6\text{m/s}$ $Q_{in}=300\text{m}^3/\text{h}$
流出条件	天井排気口：0.4m(X)×0.4m(Y)×2 個、 $U_{out}=1.6\text{m/s}$ $Q_{out}=960\text{m}^3/\text{h}$

表 3. 汚染質除去効率 ϵ^c

解析 Case	Case1	Case2	Case3
ϵ^c	3.11	4.20	2.89

表 4. 居住域汚染質除去効率 $\epsilon_{O_z}^c$

解析 Case	Case1	Case2	Case3
$\epsilon_{O_z}^c$	2.56	2.48	1.64

3 CFD 解析の結果及び考察

喫煙空間内における空間全体の濃度分布コンター図を図3、図4、図5に示す。室内空気環境の評価は、汚染質除去効率 ϵ^c 、居住域汚染質除去効率 ϵ_{oz}^c 、局所清浄度指数 ϵ_p^c を用いる。濃度分布コンター図を見ると、Case1、Case2、Case3 すべて建築物衛生法に規定される建築物環境衛生管理基準で定められている基準値(0.15mg/m³)を超える汚染物質が空間上部にあることが確認できる。各Caseにおける汚染質除去効率 ϵ^c (表3)を見ると、Case2が一番高い値となり、Case3が最も低い値となった。Case2では室左側の灰皿上部の汚染物質が灰皿の設置により偏流し換気効率が低い値になったと考えられる。Case3では自動販売機により旋回流の形成が乱された為換気効率が低い値になったと考えられる。居住域汚染質除去効率 ϵ_{oz}^c (表4)を見ると、Case3ではCase1やCase2と比較すると低い値を示した。これは図5からも確認できるが室全体に汚染物質が拡散した為と考えられる。局所清浄度指数 ϵ_p^c (表5,6,7)を見ると、概ね分布傾向は類似しているものと考えられる。給気口付近やドア風量を想定した場所に近い測定点では、新鮮空気が給気されるため高い効率を示し、空間上部の測定点では低い値を示していることが確認できた。

4 まとめ

本研究では、高効率換気システムの一つである縦旋回流型換気システムを適用した喫煙空間内に障害物を設置した場合の換気効率への影響を、気流分布、濃度分布、汚染質除去効率 ϵ^c 、居住域汚染質除去効率 ϵ_{oz}^c 、局所清浄度指数 ϵ_p^c から検討を行い、以下の知見を得た。

- 1) 縦旋回流型換気システムでは給気口付近に自動販売機を設置した場合、旋回流が乱され汚染質除去効率 ϵ^c と居住域汚染質除去効率 ϵ_{oz}^c は低い値となった。
- 2) 旋回流形成の影響により、局所清浄度指数 ϵ_p^c は、給気口付近では高い値を示し、空間上部では低い値となった。

参考文献

- 1) 喫煙の健康影響に関する検討会編：喫煙と健康 喫煙の健康影響に関する検討会報告書,厚生労働省,2016.8
- 2) 厚生労働省：新たな職場における喫煙対策のためのガイドラインの策定について,<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/05/h0509-2.html> (厚生労働省ホームページ) 2007.7.2
- 3) 遠藤智行,倉淵隆：高効率換気システムの導入による喫煙室内空気環境の改善に関する研究 日本建築学会環境系論文集第83巻 第745号,pp.285-292,2018年3月
- 4) 根根賢太郎,他:業務用ビルを対象とする液冷空調システムの開発(第3報)内部負荷液冷システムの概要と内部熱機器の実稼働状態での負荷特性把握 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 2013 第3巻 pp25-28
- 5) 遠藤智行,倉淵隆,浅利雄太郎：高効率換気システムの導入による喫煙室内空気質環境の改善に関する研究(その3)床吹出しシステムの結果及び家具配置が効率に及ぼす影響 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2,pp777-778,2009年9月

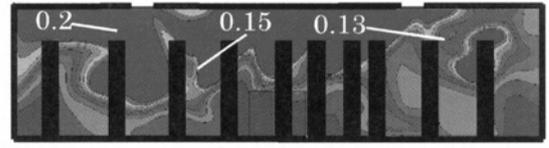


図3. Case1A-A`断面濃度分布コンター図 mg/m³

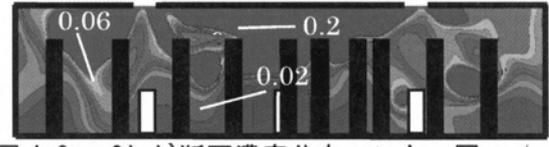


図4. Case2A-A`断面濃度分布コンター図 mg/m³

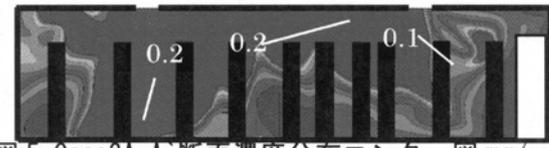


図5. Case3A-A`断面濃度分布コンター図 mg/m³

表5. Case1 局所清浄度指数 ϵ_p^c

3.60	0.43	3.71	2.04	6.64	3.81
3.28	1.71	14.68	9.87	6.34	8.84
4.59	5.60	11.03	51.59	6.48	15.19
9.69	1.13	1.50	0.22	3.46	2.34
12.69	1.25	19.43	7.97	4.78	11.53
13.93	7.27	14.20	14.08	2.71	14.10
15.96	6.24	1.71	4.92	5.34	6.91
20.43	9.24	14.81	9.63	10.17	12.55
44.40	23.95	29.22	15.76	13.95	34.29

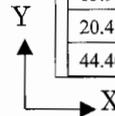


表6. Case2 局所清浄度指数 ϵ_p^c

1.62	0.96	1.85	0.78	5.13	1.57
23.89	2.14	58.32	12.74	7.03	12.30
46.92	33.78	97.92	60.99	12.53	24.45
2.30	2.03	1.53	1.92	3.67	1.63
15.29	10.86	32.37	6.46	1.71	11.87
42.42	16.14	21.85	18.37	5.22	29.37
5.01	6.46	6.47	5.07	1.33	3.22
21.24	14.69	20.45	10.86	1.25	12.85
48.12	33.38	44.36	17.04	12.73	25.80

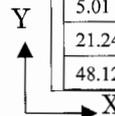
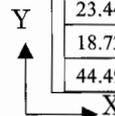


表7. Case3 局所清浄度指数 ϵ_p^c

1.99	1.98	0.92	3.42	8.51	11.00
5.62	2.15	6.82	11.91	4.82	11.13
16.02	9.04	18.85	27.22	5.27	19.04
1.85	0.79	0.43	1.17	0.96	15.05
10.78	0.79	2.56	5.97	1.90	24.23
12.54	0.73	6.22	6.95	5.31	32.66
23.44	8.50	5.70	2.79	1.55	2.73
18.72	6.63	7.40	6.82	2.68	6.41
44.49	17.75	17.94	5.65	4.45	5.96



汚染物質濃度測定点(表の下から H=100,600,1200)

5) 遠藤智行,倉淵隆,浅利雄太郎：高効率換気システムの導入による喫煙室内空気質環境の改善に関する研究(その3)床吹出しシステムの結果及び家具配置が効率に及ぼす影響 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2,pp777-778,2009年9月

韓国、ソウル市内の公共空間における人々の活動と空間の構成に関する研究

(-ソウル広場、^{カンファムン}光化門広場、^{いかた}ソウル駅前広場の人の居方を中心とした考察-)

建築学専攻 花城 輝
指導教授 柳澤 潤

1 序章

1-1. 研究背景と目的

現在の日本における公共空間は禁止事項が多いなど様々な制限があり、不自由さを感じる事もある。駅前広場などの空間は効率が重視され人々は自由な活動が許されていないようにも感じる。しかし、韓国を訪れた際に、人々が広場で自由に活動している光景がみられた。この差は一体何によって起こるものなのだろうか。この研究は、こうした私の素朴な疑問から、韓国、ソウル市内の公共空間とそこで行われている活動を分析し、考察することで、ソウル市内の広場の特徴を明らかにする事を目的とする。



左：(図1) ソウル市 光化門駅の地下鉄出口に座る女性 2019年6月28日(金)午後3時頃撮影
右：(図2) 韓国 人口100万人以上の都市



1-2. ソウル特別市概要

ソウル特別市は、大韓民国の首都である。面積は605.21 km²で、総人口は974万人である。25区の行政で構成されており、中央を流れる漢江(ハンガン)で南北にエリアが分かれている。

ソナム文化広場	13,500 m ²
光化門広場	19,000 m ²
清溪広場	6,949 m ²
ソウル広場	13,207 m ²
南山公園白根広場	
戦争記念館平和の広場	6,050 m ²
ジョンミョ広場公園	15,206 m ²
ワンシツリ広場	9,147 m ²
京畿線広場	102,008 m ²
汝矣島水色広場	7,840 m ²
パンボハンガン月光公園	43,300 m ²
平和の広場	

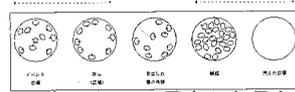


(図3) NEVER 地図にて

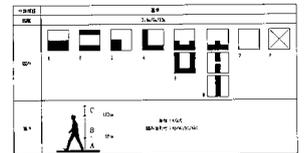
1-2. 研究方法

本研究では、ソウル市内の広場のうち、古宮前に広がる光化門広場、ソウル市庁舎前のソウル広場、首都のターミナル駅であるソウル駅前広場の3つの空間を人の居方と都市との関係の両方の面で分析、考察を行う。人の居方では、3つの広場で、休日と平日の朝と昼で人の行動を観察し、人が居た場所をマッピングする。また全ての日時のマッピングを重ね、広場内で共

通して人が多く滞留していた部分を明らかにする。鈴木毅ら⁽¹⁾や鈴木勝也ら⁽²⁾の論文の方法を用いて、その場所の環境要素(ベンチ、植物、オブジェ、壁、地面の素材など)と人との関係を写真と平面図で表す。そして、囲み、高さで分類を行い、活動と環境要素の関係を分析し、考察する。本研究において、広場は集会ができる開けた空間、公園は憩いの場と定義し、区別するものとする。



(図4) 人の居方から見た
公的空間のセッティング



(図5) 囲みと高さによる分類

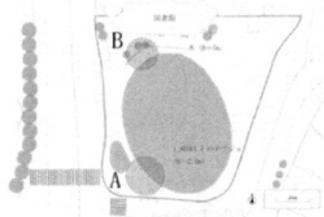
2 広場と人々の居方

2-1. 広場と人々の居方の関係

本章では、ソウル市内の3つの広場を対象とし、広場にいる人の居方を分析、考察する。本研究において「居方」とは、人がいる時の状況と定義する。

2-2. ソウル広場の人の居方

ソウル広場は、ソウル市庁舎の前に位置し、総面積は、13,207 m²である。前面には12車線の道路が存在する。利用者数は休日の朝が37人と最も多い結果となり、イベントの有無も広場の利用者数に大きく影響していると考えられる。日時ごとに集計すると、I SEOUL YOUのオブジェ周辺と、ソウル市庁舎隣の図書館前の、植栽の周辺に共通して人の滞留が見られることがわかった。I SEOUL YOUのオブジェはソウルの主要な写真スポットに置かれ、ソウル広場には高さ約2m、長さ約10mのものが置かれている。オブジェの土台部分に座ったり、写真撮影を行う行為が多く見られた。鈴木ら⁽²⁾の方法を用いて、人の滞留が複数回見られた場所の分析を行う。



AI SEOUL YOU のオブジェ
囲み：6 高さ：C
B. 図書館前の植物周辺
囲み：1 高さ：ABC

(図6) ソウル広場 人の滞留が複数回見られた場所

2-3. 光化門広場の人の居方

光化門広場は、朝鮮王朝時代の古宮である景福宮の前に位置している。面積は18,840 m²で、長さ557m

幅 34m である。利用者数は休日の昼が 299 人と最も多い結果となった。ソウル広場と同様、イベントの有無が利用人数に大きく影響していると考えられる。集計すると、広場内にある 2 つの銅像の周辺と、地下鉄駅の出口から広場へ向かう通路の階段部分に共通して人の滞留がみられる事がわかった。

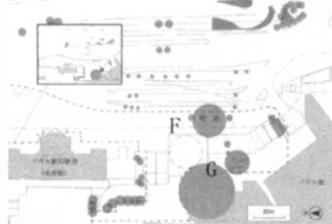


- C.世宗大王像周辺
囲み：7 高さ：C
- D.忠武公李舜臣像周辺
囲み：7 高さ：C
- E.階段部分
囲み：1 高さ：BC

(図 7) 光化門広場 人の滞留が複数回見られた場所

2-4. ソウル駅前広場の人の居方

ソウル駅は、ソウルを代表する主要な駅で、地方への鉄道や地下鉄、バスなどが利用できる。広場は駅の東側に位置しており、面積は 9,500 m² である。集計すると、喫煙所の部分と、ストリートファニチャーの部分に共通して滞留する人がみられることがわかった。



- F.駅前喫煙所
囲み：5 高さ：C
- G.ストリートファニチャー周辺
囲み：1 高さ：BC

(図 8) ソウル駅前広場 人の滞留が複数回見られた場所

2-5. 人の居方のまとめ

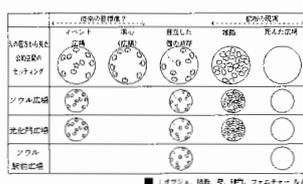
3 つの広場、合計 7 箇所の人滞り空間の分類と比較を行った結果、4 つの囲みのタイプと 3 つの高さの組み合わせに分類できることがわかった。囲みは 1,5,6,7 の 4 種類であり、最も多く見られたタイプは、1 のタイプで、A.E.G の場所にあたる。高さは C、BC、ABC の三種類の組み合わせがみられ、全てに C の 180cm 以上の高さが含まれる結果となった。これらの結果により、3 つの広場内での人の滞留は、180cm 以上の高さがあるものの周辺に起こりやすいといえる。

広場の分類	1	5	6	7
A. 世宗大王像周辺	○			
B. 忠武公李舜臣像周辺	○			
C. 階段部分				○
D. 世宗大王像周辺				○
E. 忠武公李舜臣像周辺				○
F. 駅前喫煙所				○
G. ストリートファニチャー周辺				○

広場の分類	C	BC	ABC
A. 世宗大王像周辺	○		
B. 忠武公李舜臣像周辺	○		
C. 階段部分		○	
D. 世宗大王像周辺		○	
E. 忠武公李舜臣像周辺		○	
F. 駅前喫煙所			○
G. ストリートファニチャー周辺			○

(表 1) 7箇所の人滞り空間のタイプ (表 2) 3つの広場の高さ組み合わせ

鈴木ら⁽¹⁾の表を用いて 3 つの広場の現状を考察する。ソウル広場と光化門広場は同じ結果となり、従来の目標像と都市の現実の両面を持ち合わせていると言える。3 つの広場全てにみられなかったのは、求心型である。ソウル広場は楕円形の芝生を持っているが、芝生部分はソウル市庁舎への動線となっているため、求心型の滞留がみられない理由の一つと考える。



(表 3) 3つの広場のセッティングタイプ

3 広場と都市

3-1. 広場と都市の関係

広場は、都市や周辺の環境との関係の中で成立していると考えられる。そして、広場は形状により 5 つの種類に分類でき、ソウル広場とソウル駅前広場は建物前型、光化門広場は縦に長いリニア型に分類できる。

広場の形式	独立型	建物前型	建物間型	包囲型	リニア型
代表的な広場	● 南山公園白雲広場	● ソウル広場	● 清溪広場	● 光化門広場	● ソウル路 7917
日本の広場の例	● 朝陽オランビーク公園	● 東京駅前広場	● 丸の内線沿線	● 浅草公園	● 丸の内線沿線

(表 4) 広場の形状の分類

3-2. 広場と都市の関係のまとめ

立体地図や街区を黒く塗った地図などを用いて調査を行った結果、3 つの広場は、全て 20m 以上の道路に面している事が特徴であることがわかった。ソウル広場の場合、3 方が車道であり、前面道路は 44m の幅がある。広場へのアクセスは、北側からを除いて、道路を横断する必要がある。地図を見ると、道路が広場に向かって放射状に伸びており、人を集める形状として理想的なように思える。しかし前章の考察のように、ソウル広場には誰にも使われていない死んだ広場の部分が存在し、これは 3 方が道路に囲まれた広場の状況が原因とも考えられるのではないかと。

4 結論

2 章より、滞留が共通してみられた場所は、4 つの囲みのタイプと 3 つの高さの組み合わせに分類できることがわかった。3 章より、3 つの広場は、全て幅 20m 以上の道路に面している事がわかった。2 章で得られた結果と、都市の形状を用いて考察を行うと、建物前型、リニア型両方に見られたのは、1 の一方開放型である。この結果から、広場の形状に関係なく、1 の一方開放型の囲みの空間では、人の滞留が生まれやすい事が考えられる。広場の滞留が確認できた場所でのグループ構成は、様々であり、そこで行われている活動も写真撮影や飲食など様々であった。オブジェがある A,C,D の部分は、その他の場所に比べて、写真撮影の活動が多く、オブジェの存在が人の活動に大きく影響していると言える。人の滞留があり、他者同士が共存できる広場のためには、象徴となる 180cm 以上の高さがあるものと、椅子ではない場所の中で、自ら座る場所を見つけることができる空間づくりが重要であると考えられる。今回は、ソウル市の広場の内、3 つの広場を対象とし、調査を行った。今後は、ソウル市内の他の広場や、日本など他国の広場でも調査を行い、広場の現状を明らかにしていきたい。

参考資料

- (1) 鈴木 毅, 高橋 鷹志/都市の公的空間における「居方」の考察/日本建築学会大会学術講演梗概集/1992 年 719 頁-720 頁
- (2) 鈴木勝也, 奥田宗幸/オープンスペースにおける人の居方に関する研究/日本建築学会大会学術講演梗概集/2007 年 1129 頁-1130 頁

ウインドキャッチャー設置による通風量増加効果の 予測手法に関する研究

建築学専攻 平本 透也
指導教授 遠藤 智行

1 背景・目的

近年、地球温暖化等の環境問題から省エネルギー意識が高まっており、環境共生技術が必要とされている。中間期等の室内の空気環境をより良いものとする場合、室内に自然換気を取り入れる事が有効である。自然換気は冷涼感を取り入れる事が出来るほか、室内の空気質を向上させる可能性がある。しかし、都市部の密集市街地では、隣棟間の建物壁面に接線方向の卓越風が吹き、壁面開口部から効率よく室内へ風を取り入れることが困難である。そのため、既往研究¹⁾よりウインドキャッチャー（以下、WC）手法が有効な手段である。WCは、壁面近傍接線方向動圧（以下、 P_t ）をWCにより風上側で静圧に転換し、開口部周辺の内外圧力差により、室内へ気流を流入する効果や屋外へと流出する効果がある（図1）。既往研究²⁾より、 P_t が小さい場合WC効果は低減するが、大きい場合はWCを風上・風下側どちらに設置してもWC効果が向上し、通風量が増加する。しかし、WCによる P_t の静圧転換および開口部へ作用する換気駆動力ポテンシャルの評価手法は未だ構築されていない。本研究では風洞実験で取得したWC（5.0 : 40 : 20 [mm]）を単純形状建物（以下221モデル）に設置したモデルとWCの大きさや設置方法が異なるモデルを比較し、検討を行った。

2 風洞実験概要

風洞装置は室内回流式エッフェル型風洞を用いた。対象建物は221モデルを対象とした。風圧測定時は測定孔のある221モデルを用いて風圧測定を行った。また、WCの大きさが5.0 : 40 : 20 [mm]のモデルを2ケース、WCの大きさが5.0 : 20 : 20 [mm]のモデルの合計3ケースを検討した。ケースのモデル概要図を図2に示す。風向角の概念図を図3に示す。

3 変換係数算出方法

変換係数の算出には式1を用いた。変換係数の算出に使用した壁面近傍接線方向風速の平均値を図4に示す。Case1・Case4はWC長さ40mmの為、壁面距離5mm・10mm・17.5mm・25mm・32.5mm・40mmの平均値を用いており、Case2・Case3に関してはWC長さが20mmの為、壁面距離5mm・10mm・17.5mmの平均値を使用している。

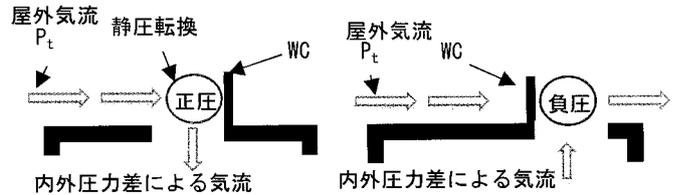


図1 WCの概念図

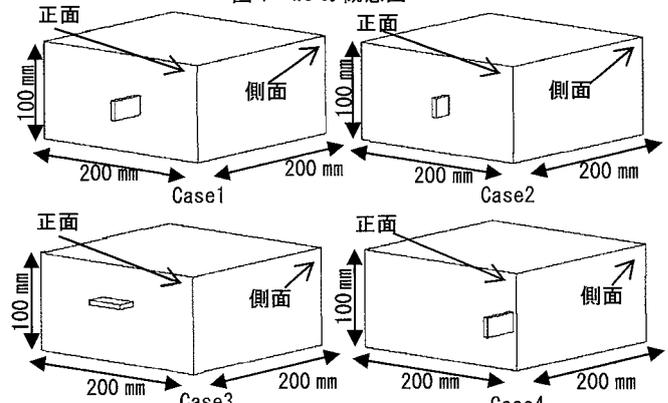


図2 各ケースのモデル概要図

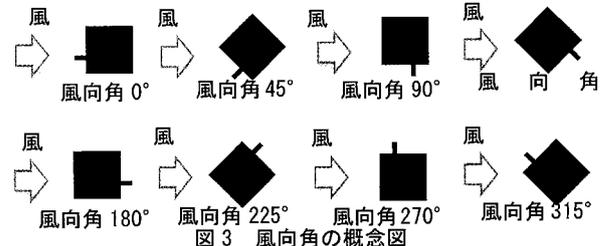


図3 風向角の概念図

$$\text{変換係数}[-] = \frac{P'_w - P_w}{P_{t\text{ave}}} \quad (1)$$

P'_w : WC設置後壁面風圧力, P_w : WC設置前壁面風圧力,
 $P_{t\text{ave}}$: 壁面近傍接線方向動圧の平均値

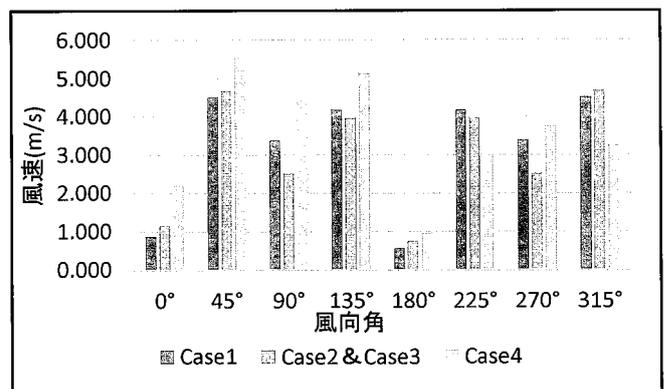


図4 壁面近傍接線方向風速の平均値

4 結果・考察

式(1)を使用し、算出した変換係数を表1に示す。また、流入効果が期待できる可能性がある風向角90°と流出効果が期待できる可能性がある風向角270°の風圧係数分布を図5に示す。風向角0°・風向角180°に関しては壁面に対し、正面・背面で風を受ける為、壁面近傍接線方向風速は低い値を示している。よって、変換係数では大きな値を示してしまっている。しかし、風向角0°や風向角180°に関してはWCを設置せずとも流入効果や流出効果が期待できる為、WCを設置する必要はないと考える。Case1とCase2を比較すると、風向角45°と風向角90°でCase2の方が静圧転換の効果が強い結果となった。また、風向角270°と風向角315°においてもWC後方部分では負圧となる効果も強くなる為、Case2の方が流入効果を期待できる可能性がある結果となった。また、風圧係数分布からも風向角90°においてはCase2が正圧に寄与している事が確認でき、風向角270°においては負圧に寄与している事が確認できる。Case3は変換係数より、風向角90°・風向角135°において流入効果が高い可能性がある結果となった。Case3は建物に対し水平方向に付属している為、主流方向の気流をせき止めるのではなく、下方から上方に流れている気流をせき止め、静圧転換が発生していると考え。Case1とCase4を比較すると、両ケースとも流出効果が期待できる可能性がある風向角45°と風向角90°においてCase4の変換係数が高い事がわかった。これはCase4においては風圧係数分布より、建物壁面の風下側にCase1よりも位置している為、風上側建物角部分による気流の乱れの影響を受けず、気流が再付着をしている部分である可能性がある為、相乗的に効果が上がったのではないかと考える。

5 まとめ

本研究では風洞実験より、風圧係数分布及び変換係数の算出を行った。全ケースの風向角0°・風向角180°においてはWCを設置せずとも流入・流出のどちらかの効果が期待できる可能性がある事がわかった。また、Case1とCase2の結果からWCの大きさが小さいWCが変換係数の数値が高かった為、壁面に近い部分の気流が静圧転換に強く作用している可能性があると考え。Case3の結果より、主流方向の気流でなくても静圧転換が発生し、ある程度の効果が期待できる可能性がある事がわかった。Case1とCase4の結果からWCの大きさが同様な場合においても設置位置が異なる場合には変換係数も異なる事が分かった。今後は、建蔽率の変化に伴う効果検証を行う事や複数のWCを用いた場合の効果検証、CFD解析による効果の検証などを行う必要があると考える。

表1 変換係数

風向角	Case1	Case2	Case3	Case4
0°	2.846	3.740	2.726	2.062
45°	0.615	1.046	0.252	0.966
90°	0.207	1.323	0.501	0.683
135°	0.022	-0.094	0.537	0.251
180°	2.762	7.242	9.840	9.577
225°	0.877	0.648	0.537	0.701
270°	-0.162	-0.578	0.501	-1.828
315°	-0.483	-0.743	0.252	2.144

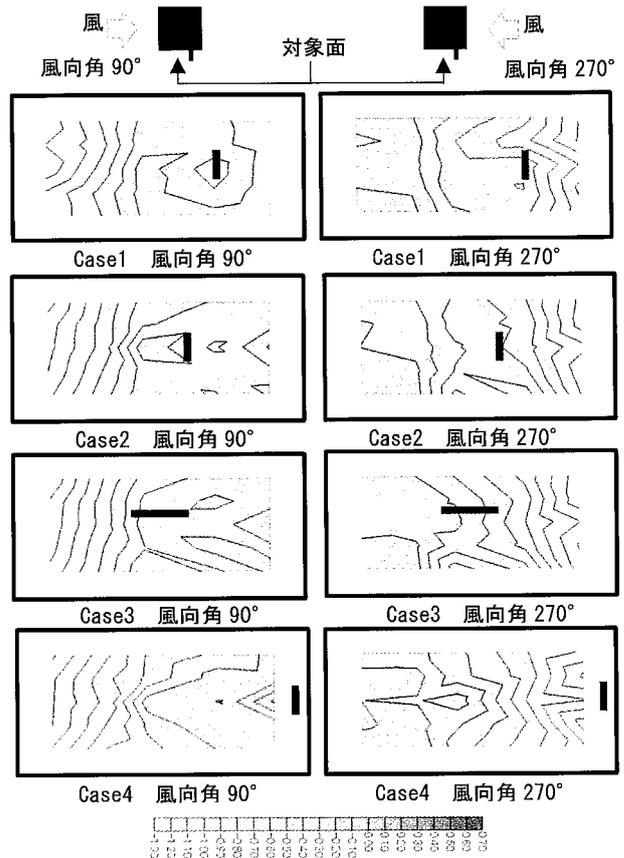


図5 風圧係数分布[-]

【謝辞】風洞実験の成果は東京工芸大学風工学研究拠点共同研究一般課題研究によるものであり、関係者各位に深くお礼申し上げます。

【参考文献】1)織田貴之, 倉淵隆, 大場正昭, 塚本健二, 野中俊宏, 山中悠己:市街地に建つ戸建住宅の通風性能向上に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp587-588, 2013.8 2)平野葵, 倉淵隆, 水谷国男, 塚本健二, 野中俊宏, 上岡弘明:密集市街地に建つ住宅のウインドキャッチャーを用いた通風性能予測に関する研究 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 第4巻, pp173-176, 2015.4 3)高橋泰斗, 遠藤智行, 平本透也, 田中英, 張偉榮:ウインドキャッチャーによる通風量増加効果の予測手法に関する研究 その5 建物壁面近傍風速及びウインドキャッチャーによる変換効率の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 699-700, pp2018.7 4)持田灯, 村上周三, 近藤宏二, 土谷学:改良 k-ε モデルを用いた低層建物モデル壁面圧力の数値解析, 生産研究 48巻2号, pp.13-17, 1966.2

沈下抑制を目的とした人工干潟における法留潜堤構造に関する模型実験と数値解析

土木工学専攻 金子 豪
指導教授 規矩 大義

1 序論

沿岸部における環境修復事業の一例として人工干潟が挙げられる。

高度経済成長に伴い、沿岸部や海岸付近では工業用地確保のために埋立事業が活発になったことで干潟面積が減少し、環境保全の取り組みが強化されたことから、多様な生物相の回復が期待できる干潟があらためて評価され、人工干潟が各地で造られるようになった。

人工干潟の一般的な造成方法は、汀線付近の地盤に対して、水質改善を目的に山砂や海砂で覆砂を行い、その後、所定の水深と勾配を確保することによって干潟としての機能を保持する。

かつて、人工干潟の設計・造成技術が十分に確立されていない頃は、通常の砂に対する人工海浜の設計方法が準用されており、沿岸部に造成される人工干潟では、波浪による侵食や造成後の基礎地盤の圧密沈下などにより、干潟が消失してしまう事例も散見された。

こうした人工干潟の覆砂材料である土砂が波浪などのよって流出し、それに伴う勾配の変化によって、干潟が機能喪失してしまうことを防ぐ目的として、土留め構造物である潜堤を構築されるようになった。

潜堤とは、人工干潟の沖側に設置される石材を積み立てた水中構造物のことで、一般に台形構造で、水中でも非常に安定しており、長期間に渡って消波性能を保持することが出来るうえに、土砂流出も防ぐ機能を有している。このことから、近年では人工干潟を造成する際には、潜堤を設置、構築することが一般的になっている。

ところで、港湾の分野では、湾内、港内の航路の水深を確保するために定期的に浚渫が行われている。掘削され、掘り出された土は浚渫土と呼ばれる。

浚渫土の利用方法の一つとして、人工干潟の覆砂材料として活用することが着目されているが、その際には潜堤の圧密沈下をどのように抑制するかという課題を抱えている。

本研究では、人工干潟の安定化のために、土砂流出を防ぐ土留め構造物としての潜堤を構築する際に、潜堤構築後に生じる沈下を抑制する方法を提案し、その沈下抑制効果を模型実験によって確かめた後に、数値解析によるシミュレーションを施し、工法の有効性、実地盤の設計への適用性について検討した。

2 沈下抑制工法の提案

本研究では人工干潟の潜堤の沈下抑制工法としてジオテキスタイルと浮き基礎構造に着目した。

ジオテキスタイルとはポリプロピレンなどの高分子材料でできた材料であり、地盤の補強に用いられる。

これを潜堤の下に敷くことで沈下を抑制しようとしたが部材が柔らかすぎるためねじれが発生し潜堤が沈下してしまう恐れがあることから、曲げ剛性の大きい浮き基礎を併用し敷設することでねじれが発生せず地盤の補強が出来ると考えた。

3 沈下抑制効果確認の模型実験

先ほど提案した沈下抑制工法が有効であるか模型実験によって確認した。

実験方法としては、幅 180cm×高さ 60cm×奥行 60cm の実験土槽内に模擬地盤を作成し、模擬地盤上に沈下抑制を目的とした部材を敷設し、その上から実設計をもとにした 1/60 の大きさの潜堤を載荷させ沈下量を計測した。

模擬地盤は海底地盤を想定し提供された浚渫土を用い、潜堤は石材に見立てた伊勢砂利を使用した。また、圧密沈下を促進するため鉛を追加した。

実験条件は表 1 に示す通りで、沈下抑制効果に加えてジオテキスタイル+浮き基礎による安定性も調べた。ジオテキスタイルは工業用メッシュで代用した。

表 1 実験条件

実験ケース名	内容	鉛	計測時間
Case1	ジオテキスタイル+浮き基礎	有	48時間
Case2	ジオテキスタイルのみ	無	24時間
Case3-1	ジオテキスタイル+浮き基礎	有	48時間
Case3-2	ジオテキスタイルのみ	無	48時間

4 実験結果

主な実験結果として実験結果ケース 3 を抜粋して図 1 に示す。図 1 では沈下曲線が徐々に緩やかになっていることから沈下速度は減少しており、実験終了直前は横ばいになっていることから沈下抑制効果を得られていることが分かった。

また、ジオテキスタイルのみでは中央部分の沈下量にバラつきがあることからジオテキスタイル+浮き基礎の方が施工上安定することが分かった。

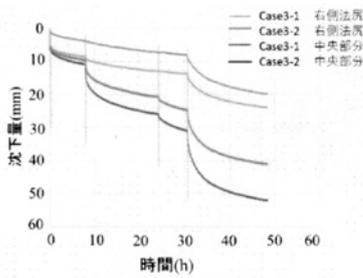


図1 沈下曲線

5 数値シミュレーション

沈下抑制効果を得られていることが分かったら実地盤に適用するために解析によるパラメータを求めた。解析方法は要素間の摩擦係数を決めるために個別要素法³⁾を選択した。

実験方法としては直径60cm×高さ90cmのドラム缶に模型実験で用いた浚渫土を投入し、潜堤を見立てた御影石を載荷速度と御影石の大きさを変えて上下に載荷させることで荷重と変位を計測した。

6 シミュレーション結果と模型地盤の再現

実験結果の一例として図2に示す。実験結果は図2からはね係数と粘性減衰係数を求められ解析によるパラメータを設定することができた。これを数値解析によって模型実験の動きを再現し沈下量を比較したところ、表2から沈下量に大きな誤差は見られず、パラメータ設定に問題はなく模型実験を再現することができた。

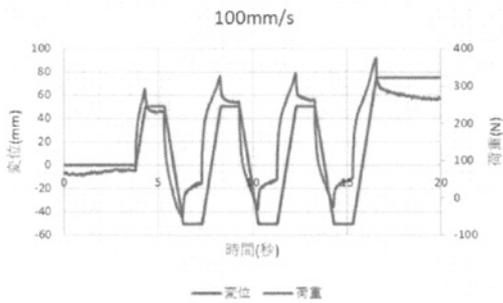


図2 実験結果一例

表2 実験結果と解析結果による沈下量(mm)

解析ケース	実験ケース	中央部分		右側法尻	
		実験	解析	実験	解析
a	Case2	13.3	13.9	5.8	10.2
b	Case1	41.2		19.8	
	Case3-1	40.7	40.3	22.8	12.4
c	Case3-2	52.2	43.7	23.9	24.6

7 実地盤の適用

実地盤の適用ができていないか解析モデルの縮尺を徐々に等縮尺に近づけることで相似率による等縮尺の沈下量を求めた。解析による変沈下量のグラフを図3に示す。それぞれの結果を曲線でつないで伸ばすことによって等縮尺の沈下量を予測することができた。

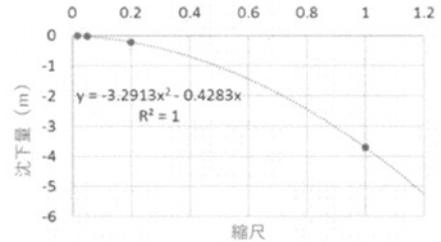


図3 相似率による沈下量比較

8 結論

本研究では、人工干潟の土留め構造物として用いられている潜堤の沈下問題に対して、沈下を低減、抑制する対策工法、補助工法として、浮き基礎とジオテキスタイルによる基礎の補強を提案し、その有効性について検討を行った。

沈下抑制効果の確認として沈下再現実験を行ったところ、ジオテキスタイルを用いた潜堤基礎地盤は支持力が確保され、ジオテキスタイルのみの潜堤に対して、浮き基礎とジオテキスタイルによる対策は明らかに沈下抑制効果が見られ施工上の安定性も確保することができた。

この対策工の有効性と、実地盤への適用のために、模型実験の数値シミュレーションと模型実験の再現を行った。解析方法は個別要素法を選択し、運動方程式を立てるにあたって、粒子間などの摩擦係数を示すパラメータを摩擦試験によって求めた。そして、そのパラメータを用いて、まず模型実験のシミュレーションを行った結果、実験結果を十分に再現することができ、パラメータ設定の妥当性が示された。

最後に、そのパラメータを用いて、相似率による沈下量の予測を行い等縮尺の沈下量を予測することができた。

よって、設計方法の提案に数値解析は有効であり、ジオテキスタイルによる潜堤の沈下低減・抑制効果は十分に認められ実設計に用いることができる。

参考文献

- 1) 栗原康: 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, 1988, p118
- 2) 姜閏求, 高橋重雄, 奥平敦彦, 黒田豊和: 前浜干潟の地形・地盤の特徴と干潟のタイプ分け, 海洋開発論文集, 第18巻, 2002, pp.13-18
- 3) 陸田秀実, 高橋俊之, 土井康明: N分散相二流体モデルに基づく干潟の流動・地形変化の数値解析, 海岸工学論文集, 第52巻, pp431-435

Flexural behavior of concrete beam reinforced with steel bar, bamboo and continuous fiber rope

土木工学専攻 Nguyen Duy Phong
指導教授 出雲 淳一

1 INTRODUCTION

Using reinforcing material, such as steel bars for concrete beam has been a great method to strengthen the resistance against external force. However, there are alternative methods to replace steel in reinforced concrete, namely bamboo bar, carbon fiber and other material. The experiment executed by our laboratory resolved the question of the effectiveness of the replacement for steel bar, focusing on bamboo and aramid fiber rope.

In this paper, not only the behavior of bamboo reinforced concrete beam and prestressed aramid fiber rope concrete beam under external loading are studied, but also the relaxation of aramid fiber rope is investigated.

2 EXPERIMENT

2.1 Outline of the experiment

Two kinds of experiment were executed, namely bending test and relaxation test. The total of 7 specimens were used for the experiments, including 2 bamboo reinforced concrete beams BRC1 and BRC2, 2 steel reinforced concrete beams RC1 and RC2, and 3 prestressed aramid fiber rope concrete beam FRC1, FRC2 and FRC3.

BRC1, BRC2, RC1, RC2, FRC1 and FRC3 were used for the bending test, and FRC1 and FRC2 were used for the relaxation test. The strains of steel, bamboo and concrete were measured with strain gauges during the bending test. There was grout injected into the sheath of FRC1 and FRC3, while there was no grout in FRC2.

2.2 Materials

Concrete strength of BRC1, BRC2, RC1 and RC2 was 39.31 N/mm^2 . Concrete strength of FRC1, FRC2 and FRC3 was 39.8 N/mm^2 . Yield strength of steel bar was 406 N/mm^2 . Grout strength after 28 days cured was 62.3 N/mm^2 . The mechanical properties of aramid fiber rope are shown in Table 1.

Table 1 Properties of aramid fiber rope¹⁾

Cross section	Young's Modulus	Unit mass	Max. Load	Tensile strength
11.5 (mm ²)	45.7 (N/mm ²)	16 (g/m)	27.8 (kN)	2414 (N/mm ²)

2.3 Loading test

Regarding to the bending test, RC1, BRC1, FRC1 and FRC3 were designed to be failed under flexural moment while RC2 and BRC2 were designed to be failed under shear force. During the experiment, every 5kN of force increased up to failure. Cracks were checked if they appeared on the beam, and the widening of the cracks as well as the expanding of the cracks. The position of the cracks was also recorded, as they showed the kind of failure of the beam.

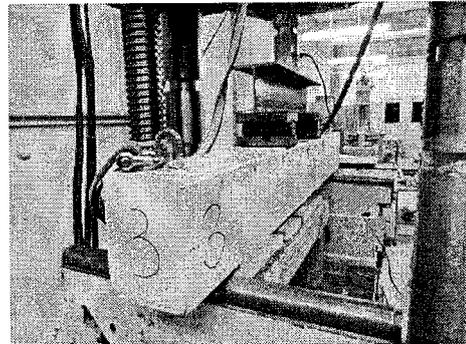


Photo 1 Setting up for specimen

Aramid fiber rope was tensioned by a hydraulic jack in FRC1, FRC2 and FRC3. Regarding to relaxation test, since the maximum load of the aramid fiber rope was about 30kN, in order to ensure the safety during the relaxation test, tensioning was stopped at 15kN and locked by anchorage system. Grout was injected after tensile process completed.

3 TEST RESULTS

3.1 Bending test

From test results, a comparison chart for load – deflection relationship between specimens in bending test can be drawn in Fig. 1.

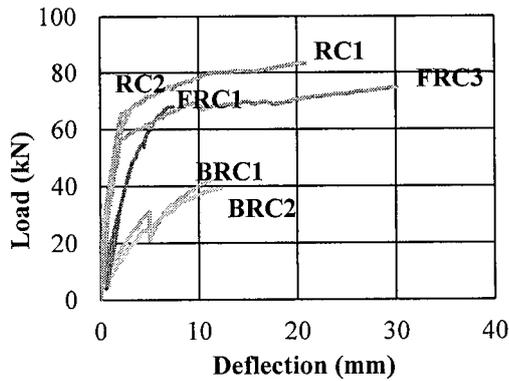


Fig. 1 Load – deflection relationship comparison

As can be seen from Fig. 1, the maximum load of BRC beam is only about half of RC beam and aramid fiber reinforced concrete beam.

From the observing the tests, RC1, BRC1, FRC1 and FRC3 failed due to bending and RC2 failed due to shear force, exactly as expected. BRC2 was designed to fail due to shear force but failed due to bending. It can be said that resistance of BRC for bending moment is weaker than of RC for shear force.

The results obtained through the tests and analysis are shown in Table 2 and Table 3.

Table 2 Test and calculated results

	RC1	RC2	BRC1	BRC2	FRC1	FRC2
P_{Ucal} (kN)	72.2	70.2	-	-	51.7	66.8
P_{Uexp} (kN)	81.5	69.0	42.0	39.29	68.0	74.7
$\frac{P_{Ucal}}{P_{Uexp}}$	0.89	1.02	-	-	0.76	0.89

Table 3 Properties of bamboo bar

Type	Cross-section area (mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Young's Modulus (N/mm ²)
Mosochiku	112.51	144	17.41

3.2 Relaxation test

Both concrete beam specimens had already been cured for about 4 months after concrete was casted. The maximum strain data at 20 micro obtained from measurement shows that the effect of creep and shrinkage on the relaxation is very small, therefore can be neglected.

Fig. 2 and Fig. 3 show the observed relaxation during the experiment and their

trendlines for FRC1 and FRC2, respectively.

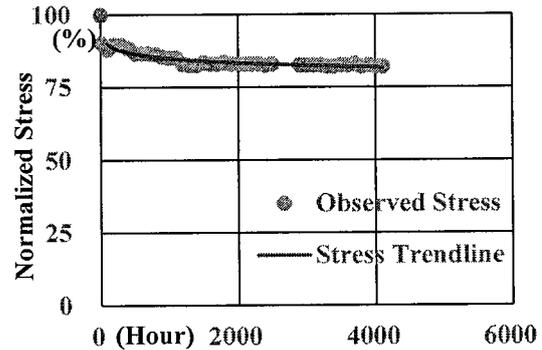


Fig 2 Relaxation of FRC1

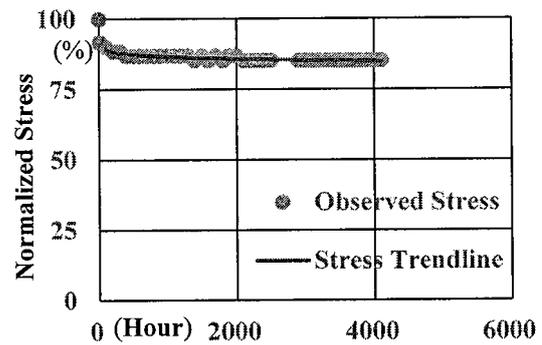


Fig 3 Relaxation of FRC2

The graphs show that relaxation of aramid fiber rope became stable in about 2 weeks after the test. When the test was finished relaxation rate of aramid fiber rope were 15% for FRC1 and 17% for FRC2. The difference of relaxation rate between FRC1 and FRC2 was only 3.2% (0.5kN). Therefore, the effect of grout can be neglected.

4 CONCLUSIONS

The following conclusions are obtained from this study.

- (1) Maximum load of BRC is about half of RC.
- (2) Maximum load of FRC is almost the same as RC.
- (3) The calculated ultimate load of FRC are underestimated for the test results. This is the reason that the grout is not taken consideration into analysis.
- (4) Relaxation of aramid fiber rope reached stable state in 2 weeks.
- (5) Relaxation rate was in range of 15%-18%.

REFERENCE

- 1) Kawakami, K.: Tensile properties of continuous fiber rope, 4th International Conference on Construction Materials: Performance, Innovation and Structural implications, August 2009.

腐食損傷した鋼製橋脚の地震時耐荷性状に関する解析的研究

土木工学専攻 河野 洋佑
指導教授 北原 武嗣

1 はじめに

国内の社会基盤施設は高度経済成長期に整備されたものが多いため、近年これらのインフラ構造物の老朽化が顕在化している。特に、鋼橋は自然環境の影響を受けやすいため、腐食損傷する事例が多く確認されている。よって、老朽化した鋼橋の保有性能を把握し、適切な補修・維持管理を行うことが求められている。

これまでに、箱型断面の鋼製橋脚を対象とし、板厚減少によって角部に腐食損傷を再現したモデルの時刻歴応答解析¹⁾が行われている。この解析モデルに兵庫県南部地震時の観測地震波を入力して検討を行った結果、腐食率の変化とともに応答性状も変化することが確認され、鋼製橋脚の耐震性能が低下することが示されている。

本研究では、腐食損傷を板厚減少によって再現した鋼製橋脚について、角部のみならず、基部やその両者が腐食した場合を考慮し、複数の観測地震動による時刻歴応答解析を行った。損傷箇所や損傷の程度の違い、入力地震動の特性の違いが耐震性能にどのような影響を与えるのかについて検討した。

2 解析概要

本研究で対象とした橋脚は、矩形断面を有する旧耐震基準で設計された T 型の既設鋼製橋脚である。なお、解析モデルは実橋梁を対象とした実験²⁾で使用した縮小模型を模擬してモデル化を行った。解析で使用したモデルおよび損傷設定箇所について図 1 に示す。なお損傷箇所は板厚を減少させることで腐食損傷を再現した。既往研究²⁾をもとに、経年劣化によって塗膜が剥離しやすい角部、たまり水が発生しやすい基部、また角部と基部が共に損傷した 3 ケースを考慮して損傷箇所および数値を設定した。角部損傷時については、基部から高さ方向 750 mm、左右板幅方向に 15 mm、基部損傷については高さ方向 7.5 mm のフランジおよびウェブ板幅方向全てに腐食させた場合を想定し、板厚を一様に減少させることによって健全モデルから損傷 25 % 時、損傷 50 % 時とした 3 パターンのモデルを作成した。なお、橋脚モデルの上部に質点を設定し、上部構造質量を設定した。材料構成則はバイリニア型モデルとし、材料特性や構造特性は表 1 に示す数値を使用した。

境界条件については、基部を 6 自由度固定とした。数値解析には汎用有限要素解析ソフト DIANA10.2

を使用し、曲面シェル要素を用いた。また健全時モデルの 1 次固有周期は、0.608 s である。

入力に用いた観測地震波の諸元を表 2 にまとめる。これらの地震波を、解析モデルの X 方向に EW 成分を、Y 方向に NS 成分を入力して時刻歴応答変位解析を行った。なお減衰設定については、Rayleigh 減衰を用いて減衰定数を 3 % に設定した。

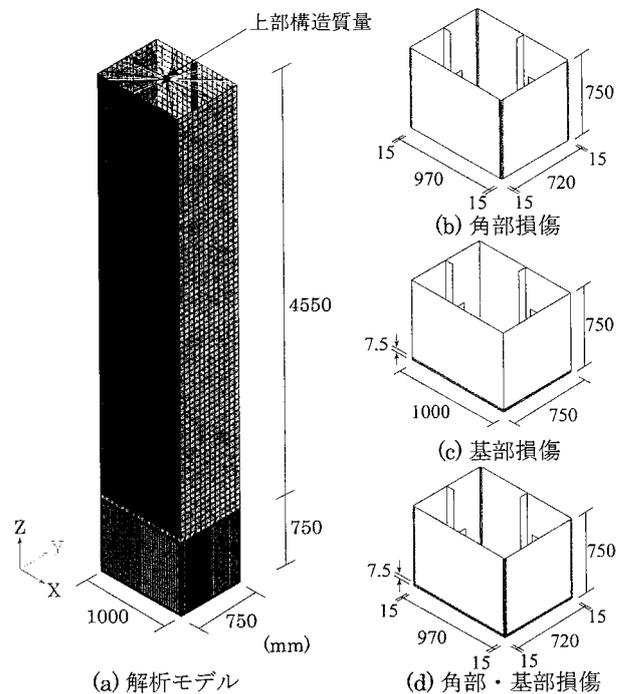


図 1 解析モデル・損傷設定箇所

表 1 材料特性・構造特性

ヤング率 $E(\text{N/mm}^2)$	2.0×10^5
降伏応力 $\sigma_y(\text{N/mm}^2)$	325
ポアソン比 μ	0.3
降伏変位 $\delta_y(\text{mm})$ [Y 軸方向]	36.52
降伏荷重 $H_y(\text{kN})$ [Y 軸方向]	752.15

表 2 観測地震波諸元

入力地震動	最大加速度(gal)		卓越周期(s)	
	NS	EW	NS	EW
JR 鷹取	686.8	672.6	1.03	0.54
西原村小森	532.3	341.0	0.42	0.42
益城町宮園(4/14)	728.6	631.5	0.64	0.91
益城町宮園(4/15)	498.9	447.2	0.68	0.78
築館	2699.9	1268.5	0.24	0.22

3 解析結果および考察

ここでは、角部・基部損傷についてのみ記載する。

図2には、橋脚頂部の質点部における最大応答水平変位、および橋脚基部における最大応答水平荷重について腐食損傷の進行度別に比較したものを示している（以下、それぞれ最大変位、最大荷重と呼ぶ）。なお最大変位、最大荷重をそれぞれ初期降伏変位、降伏荷重で除して無次元化している。また、図3には健全時からの損傷の進行度別に、最大変位および最大荷重の変化率を示している。

益城町(4/14)の結果を除き、腐食損傷が進行するとともに最大変位は増加し、最大荷重は減少する傾向を示した。この現象については、腐食損傷によって断面欠損が発生し、剛性が低下したことによるものと考えられる。なお、益城町(4/14)のみ損傷率の増加に伴い変位が減少するのは、地震波の周期特性の影響が要因の一つであると考えられる。損傷50%時における変位増加の割合については、入力地震動の加速度が最も大きい築館の2.9%の増加率に比べて、西原村小森では3.8%となっており、後者における変位増加の割合が大きくなっていることがわかる。よって入力地震動の大小だけでなく、入力方向および地震波の周期特性による影響など、他の要因について検討する必要があるといえる。

図4は、変位変化率のなかで増加傾向が最も大きくなった西原村小森入力時の健全時および各損傷度の最大変位時におけるMises応力コンター図である。なお、白色は降伏応力 325 N/mm^2 を下回る応力状態を示し、それ以上を4段階に分け、表示最大値を 500 N/mm^2 とした。健全時および各損傷度のX-Z軸平面において降伏応力を超える応力状態となり、塑性化が進んでいると考えられる。また損傷度が大きくなると、基部損傷箇所を中心として 500 N/mm^2 程度の応力が発生する箇所が増加した。この影響により、損傷50%時における応力状態に変化がみられ、基部に加えて角部にも 500 N/mm^2 程度の局所的な応力が発生していることがわかる。このように、腐食損傷が見られる橋脚基部に大規模な地震動が加わった際、損傷部を中心として降伏応力を超える応力範囲が拡大するため、耐震性能にも影響が出ると考えられる。

4 まとめ

複数の地震動を入力し時刻歴応答解析による検討を行った結果、腐食損傷が進行するとともに最大応答変位は増加傾向を、最大荷重は減少傾向を示した。またその変化の割合は、腐食損傷による固有周期の変化や地震波の周期特性も大きく影響することが示された。今後の課題は、入力地震動を水平2方向に上下動成分も加えた3方向とした場合、ランダムな初期不整や残留変位を考慮したより詳細な解析を行い耐震性能の把握を行う必要があると考えている。

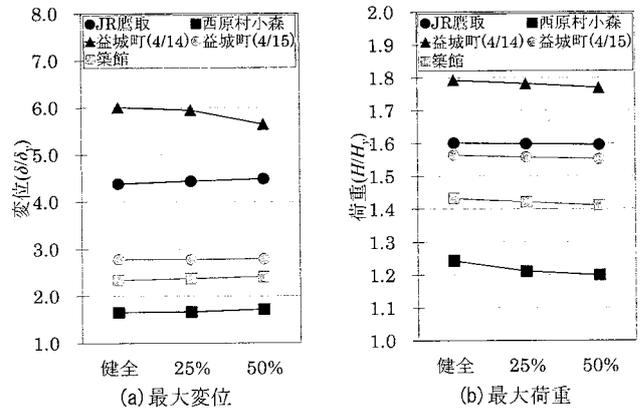


図2 最大変位、最大荷重（角部・基部損傷）

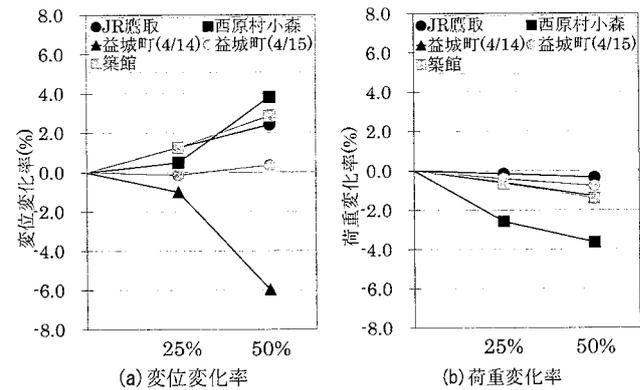


図3 変位変化率、荷重変化率（角部・基部損傷）

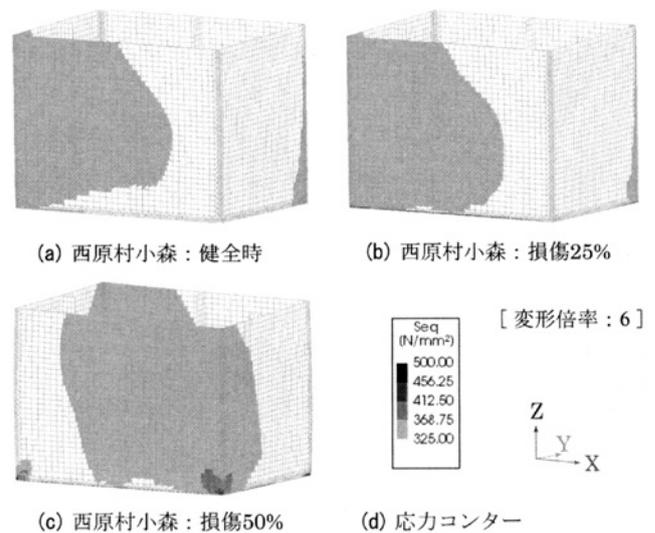


図4 西原村小森入力時における応力状態

参考文献

- 1) 永田和寿, 大野桂樹, 杉浦邦征, 北原武嗣: 腐食により断面欠損した鋼製橋脚の地震時挙動に関する検討, 構造工学論文集 A, 第 64 巻 (2018), pp.231-240.
- 2) 永田和寿, 加藤慶太郎, 杉浦邦征, 橋本国太郎, 北原武嗣: 角部に腐食損傷を有する矩形鋼製橋脚の水平 2 方向挙動に関する研究, 構造工学論文集 A, 第 58 巻(2012), pp.299-309.

複数回連続強震による補剛・無補剛鋼製橋脚の 耐力低下に関する解析的研究

土木工学専攻 須藤 遼
指導教授 北原 武嗣

1 序論

2016年熊本地震では、数日のうちに震度7が2回、震度6弱以上で7回、震度5強以上では11回もの強震が観測された。このように連続した複数回の強震が構造物を受けると、一旦軽微な損傷が生じた後にも再度、塑性域に及ぶ強度を有した強震を履歴することとなり、耐力低下などを引き起こすことが懸念される。

本研究では、連続した複数回強震を模擬した载荷パターンを考慮し、正負交番漸増载荷による複合非線形FEM解析により、既設鋼製橋脚の耐荷性状を検討することを目的とした。既往の研究¹⁾では同じ強度の強震が3回連続生じることを想定しているが、本研究では、余震として地震動強度が若干小さくなる载荷パターンや継続時間の長短を模擬した载荷パターンに関して、補剛および無補剛鋼製橋脚の耐荷性状に与える影響を検討した。

2 解析モデル概要

2.1 解析モデル

都市高速道路に用いられる既設の鋼製橋脚を対象とし、橋脚全体を曲面シェル要素(板厚方向には7分割)でモデル化した。ここでは、対象橋脚により近い断面形状である、補剛材やダイヤフラムを有する薄肉箱形断面形状としたモデルについてのみ記載する。初期不整として初期たわみを考慮している。

本研究では、解析モデルの幅厚比パラメータ R_f は0.60、0.45、0.30の3種類を用いたが、ここでは最も局部座屈が発生しやすい薄肉断面である $R_f=0.60$ のモデルについてのみ記載する。 $R_f=0.60$ は現行の耐震基準で規定されている限界よりも大きな値となっているが、既設鋼製橋脚では実在するパラメータ範囲である。細長比パラメータ λ は0.35とした。

図1に解析モデル図を、表1に各モデルの構造諸元をそれぞれ示す。解析モデル基部(Z方向最下端)を完全固定とした。解析には、汎用有限要素解析ソフトDIANA10.2による複合非線形解析を行った。

2.2 材料特性および構成則

解析に用いた材料特性は文献²⁾を参考にし、表2のように設定した。また、材料構成則は複数回連続強震に対する鋼材の弾塑性履歴を確認するため、非線形特性をバイリニア型、ひずみ硬化則を移動硬化則とした。降伏条件にはvon Mises塑性モデルを適用し、二次剛性を $E/100$ とした。

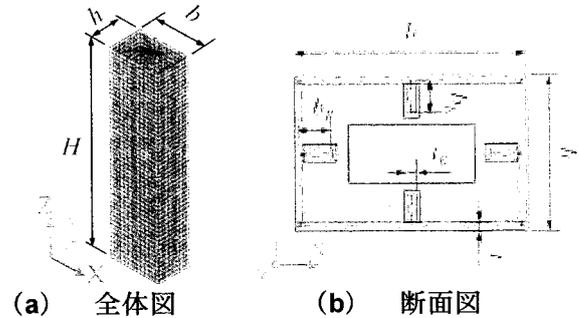


図1 解析モデル図

表1 構造諸元

橋脚高さ H	mm	700
フランジ幅 b	mm	184
ウェブ幅 h	mm	122
板厚 t	mm	3.2
補剛材長さ b_R	mm	11.8
補剛材厚さ t_R	mm	3
幅厚比パラメータ R_f		0.60
細長比パラメータ λ		0.35
降伏水平荷重 H_y	N	3.75×10^4
降伏水平変位 δ_y	mm	3.96

表2 材料特性

ヤング係数 E N/mm ²	ポアソン比 ν	質量密度 ρ g/mm ³
2.06×10^5	0.273	7.85×10^{-3}

3 解析方法

3.1 载荷条件

初期状態として、上部構造の質量相当の軸力をモデル最上面中央節点のZ軸方向に与えた。この節点は、シェル要素上端にある各節点と剛体要素で結合させている。その後、同じ節点のY軸方向に橋脚の水平変位として強制変位を与える。同等の規模の強震が3回連続して発生したと仮定し、3サイクル連続の強震を模擬した载荷パターンとしている。

3.2 载荷パターン

1回の強震(加振)における地震動の強度として、最大耐力時の水平変位 $2.5\delta_y$ と、最大耐力から5%耐力が低下した時の水平変位 $3.0\delta_y$ の2種類の最大振幅を考慮した。また、継続時間の長短を考慮するため、各サイクルにて3周期同じ変位を繰返すものと2周期繰返すものを考慮した。加えて、初期地震動よりも小さな強度を有する余震を考慮するため、サイクル毎に振

幅が減少しない振幅低減 A, 10%ずつ減少する振幅低減 B の 2 種類を考慮した。振幅低減についての詳細を表 3 に、各载荷パターンを表 4 に、载荷パターンの一例として、パターン 3033B を図 2 に示す。

表 3 振幅低減

	1 サイクル目	2 サイクル目	3 サイクル目
A	1.00	1.00	1.00
B	1.00	0.90	0.80

表 4 载荷パターン

载荷パターン	最大振幅	繰返し回数	サイクル数	振幅低減
2533A	2.5 δ_y	3	3	A
2533B				B
2523A		2		A
2523B				B
3033A	3.0 δ_y	3	3	A
3033B				B
3023A		2		A
3023B				B

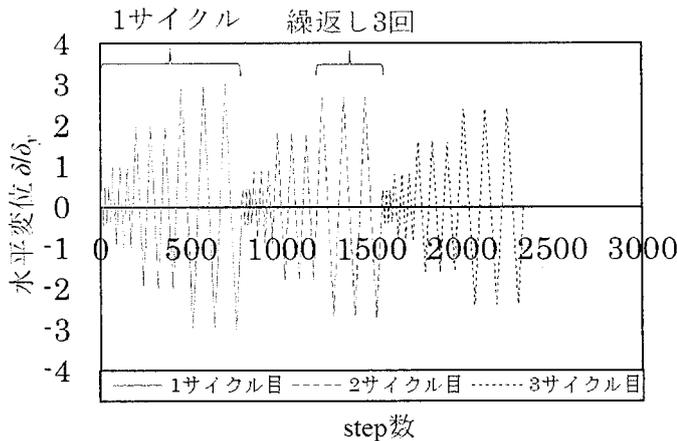


図 2 载荷パターン例 (3033B)

4 解析結果

表 4 に示したような 8 種類の载荷パターンを用いて解析を行った。ここでは最大振幅が大きく、継続時間の長い地震動を模擬した载荷パターン 3033A, 3033B の 2 種類を中心に考察する。

3033A, 3033B それぞれの荷重-変位関係図を比較したものを図 3 に、それぞれの耐力低下率を比較したものを図 4 に示す。

図 3 より、1 サイクル目終了時までには、与える変位量が同じであるため、どの载荷パターンでも荷重の包絡曲線はほぼ同様となっている。しかし、2 サイクル目、3 サイクル目と複数回の振幅を履歴することで、荷重の低下が生じており、3 回とも同じ強度の振幅が繰り返される载荷パターンの方が荷重の低下が大きくなる。

図 4 より、1 サイクル目までは、両载荷パターンにおいて耐力低下率は同じ値になることがわかる。一方、2 サイクル目以降、同じ強度の振幅が繰り返される載

荷パターンの方がより大きな耐力低下率となり、2 サイクルでは約 2%, 3 サイクルでは約 5%の差が生じていることがわかる。これは、繰り返し大きな変位振幅を履歴したため、局部座屈の進展がより進行したものと考えられる。

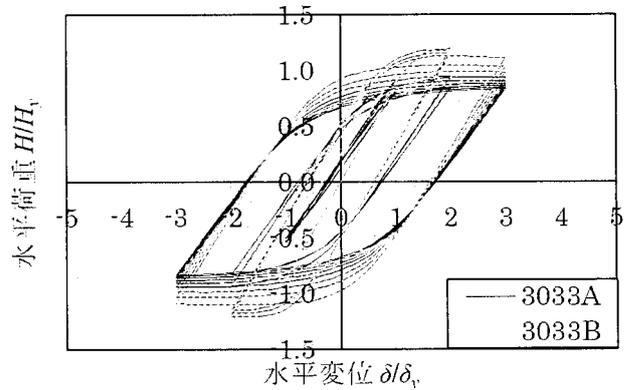


図 3 荷重-変位関係図 (3033A, 3033B)

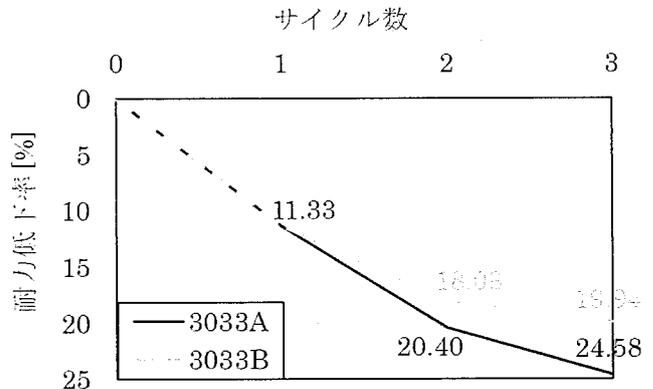


図 4 耐力低下率 (3033A, 3033B)

5 結論

既設鋼製橋脚を対象とした複合非線形 FEM 解析を行った結果、複数回連続強震を受ける補剛箱形鋼製橋脚の耐力低下に関して、耐力低下 5%時の水平変位の変位振幅をもつ载荷を繰り返し与えた場合、繰返し加振により耐力は低下し、1 サイクルで 11%弱、3 サイクルでは最大 25%程度の耐力低下となること、また振幅低減の有無によって、最大 5%程度の低下率の差が生じることを示した。

参考文献

- 1) 反田敦也, 北原武嗣, 大谷友香: 複数回連続強震を受ける鋼製橋脚の耐荷性状に関する解析的検討, 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会 (2018), pp.1-67.
- 2) 田中賢太郎, 北原武嗣, 山口隆司, 吉田隆信: 長継続時間地震動を考慮した鋼製橋脚の耐荷性能の実験的検討, 第 16 回鋼構造年次論文報告書 (2008), pp.291-296.

確率的低気圧モデルを用いた高潮の再現確率の推定

土木工学専攻 瀬田 幸司
指導教授 福谷 陽

1 はじめに

わが国では 1954 年伊勢湾台風による高潮で、愛知県伊勢湾を中心に甚大な被害が発生した。最近では、2018 年台風 21 号による兵庫県・大阪府を中心に関西国際空港の高潮被害、2019 年台風 15 号による神奈川県横浜市金沢区福浦、幸浦両地区で約 3.9 平方キロメートルに渡る高潮被害を受ける等、今後の高潮のリスク評価がより重要性を増してきている。

2003 年から 2014 年までの高潮潮位偏差 50 cm 以上の観測履歴¹⁾より、低気圧と台風の潮位最大偏差を比較すると、北海道・北陸・東北地方の一部地域では、低気圧による潮位偏差の方が高い。事例として北海道根室市花咲観測所で、低気圧による潮位最大偏差 117 cm、台風による潮位最大偏差 72 cm であった。この低気圧は 2014 年に襲来し、高潮によって根室市街地では床上・床下合わせて 97 戸で浸水被害が発生した。また、これまで台風の統計的・確率的・力学的手法を用いた高潮の研究は進展してきたのと対照的に、低気圧による高潮の研究事例は少なく、特に確率的手法を用いた研究事例が少ない。

本研究は加藤ら (2004)²⁾の研究手法に基づき、爆弾低気圧と定義された近年の低気圧データ³⁾を用いて確率的低気圧モデルを構築、横須賀市を対象に、高潮の年最大潮位偏差を算出、極値統計解析による再現期間毎の年最大潮位偏差を算出することを目的とした。

2 確率的低気圧モデルの構築

2.1 爆弾低気圧属性の解析

1996 年から 2017 年までに観測された 22 年間分の爆弾低気圧データ 439 個から中心気圧、移動速度、移動方向、偏平度、長軸方向角並びにそれらの時間変化量を、対象の地域を北緯 20°~70°、東経 100°~180°と定め、数値解析ソフトウェア Matlab を使用して、2°格子毎に平均値、標準偏差を解析した。

2.2 確率的低気圧モデルの概要

確率的低気圧の発生初期位置は、緯度・経度別の実績の累積度数分布に従う乱数で決定した。各低気圧の中心気圧・移動速度・移動方向の初期値はその位置における平均値と標準偏差から定義される正規分布に従う乱数で決定した。

式(1.a)、式(1.b)に示したように、時刻 n の低気圧属性は、時刻 $n-1$ における各低気圧属性、並びに各時間変化量の和で決定した。

$$T_n = (T_{n-1} + \Delta T_n)(1 - \alpha) + \overline{T_{n-1}}(x, y)\alpha \quad (1.a)$$

$$\Delta T_n = \Delta S(x_n, y_n) + Z_n(x_n, y_n) \quad (1.b)$$

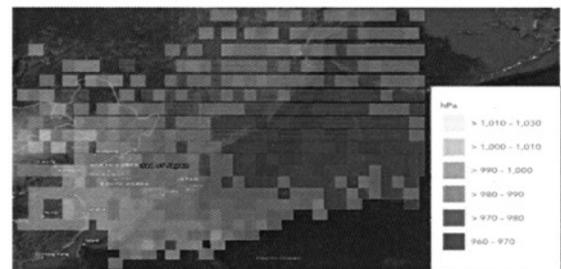
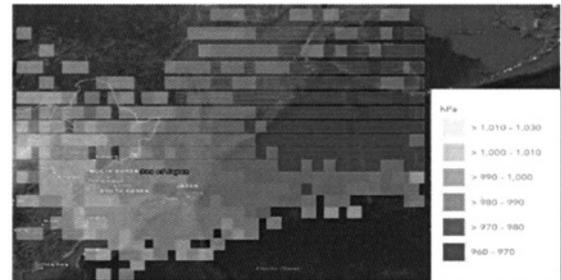


図 1 爆弾低気圧の中心気圧平均値の比較
(上：実測値，下：予測値)

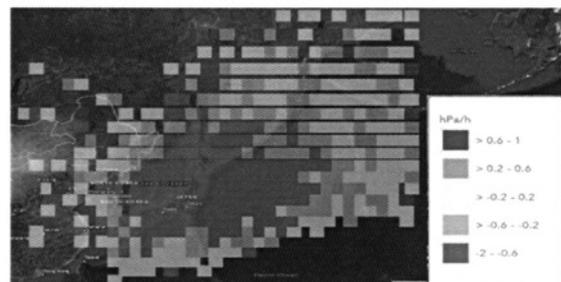
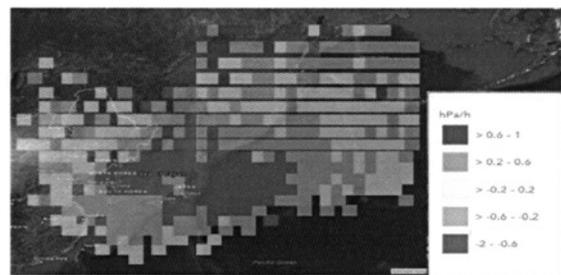


図 2 爆弾低気圧の中心気圧の時間変化量平均値の比較
(上：実測値，下：予測値)

ここで、 T_n ：時刻 n の低気圧属性の絶対値、 ΔT_n ：時刻 n の低気圧属性の時間変化量、 $\overline{T_{n-1}}(x, y)$ ：時刻 $n-1$ における低気圧属性の平均値、 $\Delta S(x_n, y_n)$ ：低気圧中心位置における低気圧属性の時間変化量の空間平均値、 Z_n ：低気圧属性の偏差である。 α は重み係数であり、本研究は 0.15 とした。計算時間は 6 時間間隔とし、対象領域外へ出る、または中心気圧が 1012hPa 以上となるまで計算を継続した。

モデルの検証のため、実測の爆弾低気圧データと同

じ 439 個の確率的低気圧を作成し、実測と予測の低気圧属性を比較した。中心気圧の平均値を図 1、中心気圧の時間変化量平均値を図 2 に示した。図 1 より、中心気圧平均は、確率的低気圧モデルの方が実績より若干低い、分布傾向は類似していることが分かる。図 2 より、気圧の時間変化量平均は、確率的低気圧が実績に比べ若干低い、分布傾向は類似していることが分かる。また、確率的低気圧モデルは、実績に比べ東シナ海で発達しやすい分布傾向であることが分かる。

3 高潮年最大潮位偏差の算定

3.1 確率的低気圧モデルにおける風速の算定

作成した確率的低気圧の属性より、最大風速半径並びに風速を算出し、高潮潮位偏差を求める。最大風速半径 r_0 は、国総研⁴⁾の採用している式(2.a)、式(2.b)を用いて算出、確率的低気圧の気圧分布は、横須賀市の座標を参照とし、Myers の分布式⁵⁾(2.c)を仮定し、算出、風速の算出に必要な地衡風並びに場の風はそれぞれ式(2.d)、式(2.e)を用いて算出した。

$$r_0 = 80 - 0.769(950 - P_c) \quad (P_c < 950) \quad (2.a)$$

$$r_0 = 80 + 1.633(P_c - 950) \quad (P_c > 950) \quad (2.b)$$

$$P(r) = P_c + \Delta P \cdot \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (2.c)$$

$$U_1 = C_1 \left(-\frac{rf}{z} + \sqrt{\left(\frac{rf}{z}\right)^2 + \frac{\Delta P r_0}{\rho_a r}} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \right) \quad (2.d)$$

$$U_2 = C_2 \frac{U_1(r)}{U_1(r_0)} V_r \quad (2.e)$$

ここで、 $P(r)$: 低気圧の中心から r だけ離れた点での気圧、 f : コリオリ係数 ($=2\omega \sin \Phi$, ω : 地球自転の角速度 $=7.29 \times 10^{-5} \text{rad/s}$, Φ : 緯度), ΔP : 気圧深度 ($=1010 \text{hPa}$), ρ_a : 大気密度 ($=1.22 \text{kg/m}^3$), V_r : 低気圧の移動速度である。低気圧の経験的な軽減係数 C_1 , C_2 の値は港湾空港技術研究所が採用している 0.65 とした。

3.2 高潮潮位偏差の算定

式(2.d)、式(2.e)で算出した確率的低気圧の地衡風並びに場の風をベクトル合成した値を海上風とし、気象庁の潮位式⁶⁾(2.f)を用いて、横須賀市での各確率的低気圧の高潮潮位偏差を算出した。

$$h = a(1010 - P_c) + bW^2 \cos \theta \quad (2.f)$$

ここで、 h : 高潮潮位偏差 (cm), W : 低気圧の海上風最大風速 (m/s) である。 a 並びに b は過去の資料を用い、計算によって求められる定数で、本研究は東京湾の定数を採用し、 $a = 2.332$, $b = 0.112$ とした。 θ は最大風速の風向が主風向となす角度で、 0° とした。1 年毎の確率低気圧の発生は、爆弾低気圧の年平均発生個数 20 個に従うポアソン乱数で決定し、1000 年分のモンテカルロシミュレーションを実行し、各年の最大潮位偏差を抽出した。1000 年間の年最大潮位偏差のうち、上位 5 つをピックアップした年最大潮位偏差を表 1 に示す。490 年目の年最大潮位偏差は 154.95cm で、その時の低気圧属性は、中心気圧が 956.59hPa, 海上風が 18.66m/s であった。

表 1 年最大潮位偏差

シミュレーション年数	年最大潮位偏差 (cm)	年発生個数
490 年目	154.95	19
629 年目	152.65	16
484 年目	145.31	17
991 年目	141.98	22
196 年目	139.53	25

4 極値統計解析

統計解析言語ソフト R を使用し、算出した年最大潮位偏差で一般極値分布 (GEV) 並びに各年の上位 r 個の潮位偏差データを使用することで GEV 分布より高い精度の r GEV 分布の極値統計解析を実行し、算出した再現期間毎の結果を表 2 に示す。再現期間 1000 年の年最大潮位偏差は GEV 分布が 156.87cm, r GEV 分布が 161.90cm であった。

表 2 再現期間毎の年最大潮位偏差

再現期間 (年)	年最大潮位偏差 (cm)	
	GEV 分布	r GEV 分布
100	131.82	135.00
200	140.16	143.87
400	147.78	152.05
800	154.76	159.60
1000	156.87	161.90

5 まとめ

爆弾低気圧と定義される低気圧の年発生個数、発生位置の分布、 2° 格子毎の低気圧属性と時間変化量の平均、標準偏差を解析し、確率的低気圧モデルを構築した。確率的低気圧モデルから低気圧の各属性を算出し、高潮の年最大潮位偏差を 1000 年分抽出した。年最大潮位偏差の極値統計解析を行い、再現期間ごとの年最大潮位偏差の推定値を算出した。

参考文献

- 1) 国土交通省高潮水防の強化に関する技術検討委員会: 想定し得る最大規模の高潮等について補足説明, 2015.
- 2) 加藤史訓・柴木秀之・鈴木勝之: 確率的低気圧モデルを用いた越波量の評価, 海洋開発論文集, 20 巻, pp. 95-100, 2004.
- 3) 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門 気象学・気候力学分野 (川村隆一 研究室): 爆弾低気圧情報データベース, 2017.
- 4) 高木泰士・呉文潔: 日本南方海域を通過する台風の最大風速半径の推定手法, 土木学会論文集 B3(海洋開発)71 巻, 1 号, pp. 1-6, 2015.
- 5) Myers, V. A.: Characteristics of U.S. hurricanes pertinent to levee design for lake Okeechabee, Florida., Hydrometeorological. Rep., No.32, Weather Bureau, U.S. Dept. Commerce, Wash D.C. 106p., 1954.
- 6) 宮崎正衛: 高潮の研究, p91, 成山堂書店, 2003.

周期的変動成分が構造物の対風挙動に及ぼす影響について

土木工学専攻 藤井 達也
指導教授 中藤 誠二

1 はじめに

橋梁などの構造物への風の影響は一般に平均成分を考慮することで十分な場合も多いが、変動成分のなかで支配的な周期的変動がある場合に、構造物の対風挙動に大きな影響を与えることがある。例として、カルマン渦と構造物の固有振動数との共振現象である渦励振、構造物の振動によって励起される空気力によって生じるフラッター、また並列橋において上流側の橋梁から生じた渦が下流側に影響を及ぼす減少などが挙げられる。これらの検討には、従来より風洞実験を用いたものが最も信頼性の高い評価手段として利用されてきた。しかし、近年のコンピュータ性能の向上により、実務レベルでの数値流体解析 (CFD) の活用が進みつつあり、一方で、計算結果の妥当性については、計算例の蓄積が十分でないことや解析手法や条件が様々であることから、その確認が難しいのが現状である。建築学会では計算条件の設定やベンチマークとなる計算結果などを示したガイドラインを 2017 年に公開しており、土木学会においても橋梁の CFD を対象に検討が進められている。実務での利用を想定すると、様々な計算手法 (ソフトウェア) や計算条件での計算例を整理し、指針を定める必要がある。

そこで本研究では、汎用 FEM ソフトである COMSOL Multiphysics と近年、研究分野を中心に広く用いられつつあるオープンソースである OpenFOAM²⁾を用いて、正方形断面柱と矩形断面柱を対象に数値流体解析を行い、計算結果の妥当性について検討するとともに、周期的変動成分と関連の高いカルマン渦の生成に着目して考察を行った。

2 数値流体解析

数値流体解析の手法としては、DNS (直接数値計算) と、乱流モデルを用いたものとして RANS, LES などがある。乱流モデルとは要素サイズより小さい渦については渦粘性として評価し、全体の流れ場の再現性を高める手法である。COMSOL では RANS の手法の一つである $k-\epsilon$ モデルが選択可能である。

(1) COMSOL による 2 次元上での解析結果

正方形断面柱を対象に、迎角を 0° から 45° まで変化させて解析を行った。レイノルズ数は $Re=30$ として、乱流モデルを用いない DNS (層流計算) と $k-\epsilon$ モデルの計算結果を比較する。流入条件として、いきなり所定の風速を与えると収束解が得られないため、風速を 0 から滑らかに約 0.2 秒かけて増加させ、その後 7 秒まで計算を行った。要素分割は 47460 要素と 660 境界要素として図 1 に示す、非構造メッシュであり、物体周りについて要素分割を細かくしている。

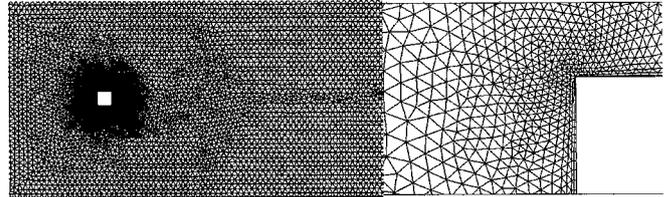


図 1 要素分割

迎角 0° の場合の風速分布を図 2 に示す。層流計算では後流の渦が不規則であり、カルマン渦のように規則正しい配置となっていない。一方、乱流モデルを用いることにより、後流の渦が規則的に配置されており、カルマン渦が再現されている。

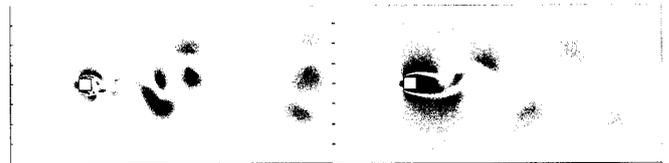


図 2 風速分布, 上: 層流計算, 下図 $k-\epsilon$ モデル

物体周りの流れを拡大したものを図 3 に示す。層流計算では、剥離線断層の高い速度勾配が減衰せずにそのまま流下しており、後流域が複雑な流れ場となっている。 $k-\epsilon$ モデルでは剥離線断層の高い速度勾配による渦が渦粘性として評価され、下流に向かって速度勾配が緩やかになり、全体として剥離流れが大きく下流方向にまで広がり、結果として規則正しい交互渦 (カルマン渦) を再現することができている。



図 3 拡大図, 左: 層流計算, 右: $k-\epsilon$ モデル

正方形角柱の場合の抗力係数、揚力係数について実験値と共に図 4 に示す。層流モデルは抗力、揚力ともに実験値と比較してなめらかな値になっていない。抗力は実験値より大きな値を示しているが傾向は実験値と一致していると言える。抗力、揚力ともに乱流モデル $k-\epsilon$ を用いることでなめらかな値になっており、 0° から 10° 付近は非常に一致している、また揚力は 10° から 30° の間が実験値よりも大きな値を示しておりこの区間は実験値の傾向とは一致していない。しかし、その他の区間の傾向は非常に妥当な値を得られている。 $10^\circ \sim 30^\circ$ 区間の傾向が一致していないことについては今後更に詳細に検討する必要がある。

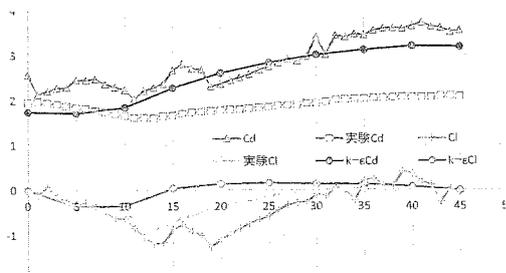


図4 正方形角柱の抗力係数, 揚力係数

辺長比5についても同様に6°までの計算を行った。図5に迎角-5°の風速分布を示す。層流計算では、下面側の剥離泡内で(実際には生じない)強い乱れた流れが生じているが、 $k-\epsilon$ モデルでは乱流モデルにより、下面側の剥離流れが下流に向かって大きく巻き込んでおり、上面後縁部から剥離した流れと交互に巻き込むことでカルマン渦が生成されている。平均成分については、妥当な結果が得られているが、変動成分については実験値から大きく外れた値となっている可能性がある。

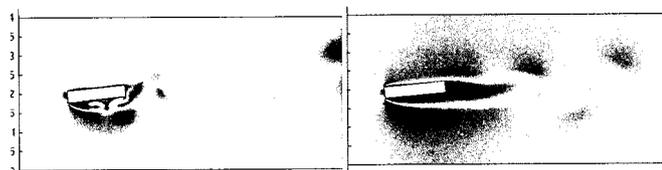


図5 辺長比5の風速分布, 迎角5°
右: 層流計算, 左図 $k-\epsilon$ モデル

辺長比5の場合の抗力係数, 揚力係数について既往の実験値, 計算値とともに図6に示す。既往の値より抗力で最大1.5倍, 揚力で1.3倍の大きさを示したが傾向はおおよそ一致している。乱流モデルを入れていないにも関わらずこのような結果が得られるのは、剥離点が隅角部に固定されるため、物体周りの流れ場がある程度再現されるためと考えられる。ただし、上に記したように流れ場全体は大きく異なっており、平均成分の結果をもって妥当性を判断することは難しいともいえる。

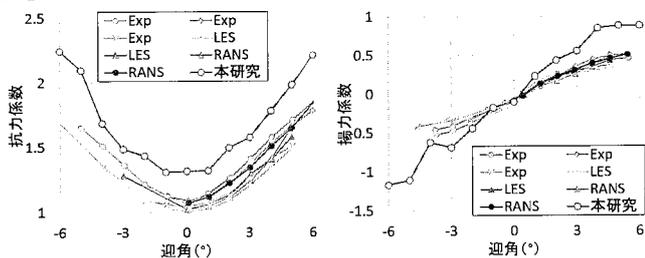


図6 辺長比5の抗力係数, 揚力係数

3次元計算も実施したが、物体表面の境界条件も「すべりあり」とする特殊な条件では収束解が得られたが、通常の「すべり無し」の境界条件では収束解が得られなかった。

(2) OpenFOAMによる解析結果

0.03×0.03×0.4mの正方形柱について、乱流モデルとしてLESを用いた3次元計算をOpenFOAMにて実施した。要素分割を要素数は 2.3×10^5 である。

物体周りを6面体4つで分割することで、物体付近の要素のひずみを小さくし、迎角の変化にも座標値の変更だけで対応することができる。

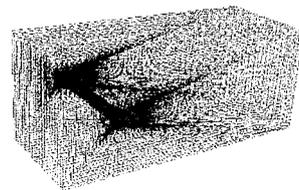


図7 OpenFOAMにおけるメッシュ分割

風速分布と圧力分布を図8に示す。t=1.0

秒のとき、上下対象に前縁から剥離した流れが、物体背後で巻き込んでおり、それに対応して圧力も上下対象に負圧の領域が生じている。t=1.6秒では、交互に流れ去った渦が、後流域で複雑な流れを生じており、その状態はt=10.0秒においても同様であった。物体背後に規則的な交互渦が形成されていないのは、軸方向の3次元的な流れの効果が大いこと等が考えられるが、詳細についてはさらに検討する必要がある。

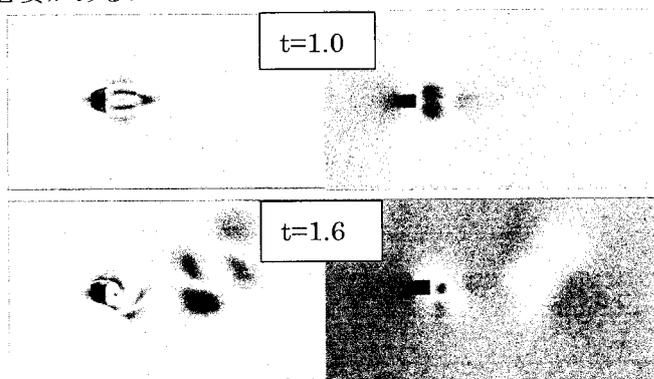


図8 OpenFOAM LESモデル
上: t=1.0s 下: t=1.6s

3 まとめ

本研究では、正方形断面柱および矩形断面柱を対象に数値流体解析を実施し、結果の妥当性について検討するとともに、特に周期的変動成分に着目して考察した。剥離せん断層内の渦を乱流モデルによって適切に評価することが、カルマン渦の生成および空気力の値にも影響することが分かった。今後、周期的変動成分として、流入風が変動する場合、また構造物が強制加振された場合についても検討を進め、橋梁の耐風設計における数値流体解析の活用を進めるにあたっての、基礎的データを整理していく予定である。

参考文献

- 1) Takeshi Ishihara, Tian Li : Numerical study on suppression of vortex-induced vibration of circular cylinder by helical wires, Journal of Wind Engineering, 2020
- 2) オープン CAE 学会 : OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析, 森北出版, 2016
- 3) 勝地弘 : 本四連絡橋における耐風設計と風観測, 風工学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 353-356, 2009

室温プロセスを用いた金ナノ粒子の合成と評価

物質生命科学専攻 高田 あかり
指導教授 濱上 寿一

1 緒言

金や銀の貴金属は、そのサイズを数 nm から 100 nm 程度にナノ粒子化するとバルクとは異なるユニークな光学特性を可視光から近赤外領域に示す。この光学特性は、局在表面プラズモン共鳴(Localized Surface Plasmon Resonance: LSPR)と呼ばれる。¹⁾LSPR のピーク波長位置は、ナノ粒子の種類(金, 銀, 銅など)やサイズ, 形態, 周囲の媒質の屈折率などにより変化する。特に, 化学的に安定で生体親和性の高い金は, 生体関連材料の分野から注目されている。金ナノ粒子は, 現在市販されているインフルエンザ検査薬や妊娠検査薬などに用いられている。さらに, 形状異方性を有する板状の金ナノプレートは生体窓である近赤外領域に LSPR を持つことから, プラズモニックバイオセンサやフォトサーマル(光熱)治療などへの応用展開が期待されている。

シリコンやガラス基板上に形成された金ナノプレートは超感度分子を検出するための表面増強ラマン散乱(Surface Enhanced Raman Scattering: SERS)用基板としての用途がある。一般に金ナノプレートは Seed 溶液と Growth 溶液を用いた Seed-mediated growth 法にて合成される。²⁻⁴⁾しかしながら, この合成プロセスは, 操作が煩雑で多数の試薬を必要とし, さらに室温・大気圧のプロセスではない。そこで, より簡便で低コストなプロセス技術の開発が求められる。

そこで本研究では, 従来法に比べ, よりシンプルで, かつ室温・大気圧にて金ナノプレートを作製するための環境低負荷型なプロセスを開発するとともに, LSPR 屈折率センサとしての機能性を評価することを目的とした。⁵⁾

2. 実験方法

2.1 室温クエン酸還元法を用いた金コロイド溶液の調製

ガラス基板を浸漬する金コロイド水系溶媒の調製には室温クエン酸還元法を用いた。具体的には, 1.0 mM の塩化金酸(\square)(HAuCl_4)水溶液に 0.14 M のクエン酸三ナトリウム ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)水溶液を添加し, 室温にて静置反応させた。作製した試料は, 紫外可視近赤外分光光度計, 動的光散乱(Dynamic Light Scattering: DLS)装置を用いて評価した。

2.2 金ナノプレートのガラス基板への作製

金ナノプレートを作製する基板には, 松浪硝子工業

(株)製の APS コートスライドガラス(臨床検査用ガラス)を用いた。このガラスは, 疎水性のアミノ基修飾ガラスである。このガラス基板を 2.1 で調製した金コロイド溶液中に所定時間浸漬し, 試料とした。各試料は, 接触角計, 紫外可視近赤外分光光度計, XRD($\text{Cu-K}\alpha$ 線), 電界放出形電子顕微鏡(FESEM)を用いて評価した。

2.3 LSPR 屈折率センサ特性評価

2.2 で作製した試料を屈折率の異なるスクロース水溶液中に浸漬し, その吸光度スペクトルを測定することでセンサ特性を評価した。水溶液中のスクロース濃度を 0%から 60%まで変化させることで, 溶液の屈折率を 1.33 から 1.42 まで変化させた。吸光度スペクトルは光透過率測定から求めた。屈折率センサ感度は単位屈折率あたり(Refractive Index Unit: RIU)の LSPR ピーク波長のシフト量から求めた。

3. 結果と考察

3.1 金コロイド溶液のキャラクタリゼーション

塩化金酸水溶液に還元剤であるクエン酸ナトリウムを添加すると, 水系溶媒の色調は薄黄色から赤色(ワインレッド)へと変化した。試料の紫外可視近赤外吸光度スペクトルから, 波長 532 nm 付近に 1 つの吸収ピークが検出された。このことから, 球状の金ナノ粒子の生成が推定される。クエン酸は分散剤としての役割もあり, 金ナノ粒子表面にクエン酸が吸着することで粒子表面は負に帯電し, その静電反発力で水中に分散していると考えられる。DLS の解析結果から算出された金ナノ粒子のサイズは約 45 nm であった。

3.2 金ナノプレートのキャラクタリゼーション

3.1 で調製した金コロイド溶液に市販の疎水性アミノ基修飾ガラスを所定時間浸漬した。使用したガラス基板の水の接触角は 50°であった。金コロイド溶液に 3 日間浸漬したガラス基板は無色透明であり, 浸漬前の基板との色調変化は目視では確認できなかった。この無色透明な試料の吸光度スペクトルを測定したところ, 図 1 のように可視光領域である波長 530 nm 付近と近赤外領域である波長 854 nm 付近に 2 つの吸収ピークを持つことがわかった。さらに, XRD の測定結果から, 金(fcc 構造: ICDD #04-0784)の 111 面に優先配向した回折ピークが $2\theta=38^\circ$ 付近に検出された。これらの現象を明らかにすべく, ガラス基板表面を FESEM にて観察した。高倍率で観察した代表的な FESEM 写真を図 2 に示す。これより, ガラス基板上に一辺が約

400 nm の三角形状のプレートとその表面に直径が約 50 nm の球状粒子が存在していることを確認した。形状は三角形以外にも六角形やその角が欠けた多角形状のナノプレートの析出も確認された。これらのナノプレートは金コロイド溶液中でガラス基板上に新たに核形成・成長したものと考えられる。一方、プレート上の球状粒子はガラス基板を引き上げる際に金コロイド溶液中の粒子が物理的に吸着したものと考えられる。低倍率の試料の観察結果から、ガラス基板表面への粒子の被覆率は 10%程度であった。この被覆率の低さは、使用したガラス基板が疎水性であることが大きく影響しているものと考えられる。

3. 3 LSPR 屈折率センサ特性

図 3 に疎水性アミノ基修飾ガラス表面に成長した金ナノプレートの LSPR ピーク波長位置と溶媒の屈折率との関係を示す。(a)が金ナノプレートの Transverse surface plasmon resonance(t-SPR)で、(b)がプレートの Longitudinal surface plasmon resonance(l-SPR)の結果である。センサの性能を示す決定係数(R^2)とセンサ感度は、金ナノプレートの t-SPR で $R^2=0.98$ 、感度 88 nm/RIU、l-SPR で $R^2=0.99$ 、感度 99 nm/RIU であった。以上の結果から、疎水性アミノ基修飾ガラス上に析出した金ナノプレートは LSPR に基づく屈折率センサとして機能することを明らかとした。

4. 結語

室温クエン酸還元法を用いて調整した金コロイド溶液中に疎水性アミノ基修飾ガラスを浸漬させることで、金ナノプレートが作製できる環境低負荷型なプロセス技術を開発した。吸光度スペクトルの結果から、可視光から近赤外領域にかけて金ナノプレートの t-SPR モードと l-SPR モードに基づく 2 つの LSPR ピークが検出された。金ナノプレートの 2 つの LSPR ピーク波長はスクロース水溶液の屈折率によって変化することから、LSPR 屈折率センサとして機能することを明らかとした。

参考文献

- 1) K. M. Mayer *et al.*, *Chem. Rev.*, **111**, 3828,(2011).
- 2) P.R. Sajanalal *et al.*, *Nano Reviews*, **2**, 5883 (2011); DOI: 10.3402/nano.v2i0.5883.
- 3) M. Morsin *et al.*, *Procedica Eng.*, **184**, 637 (2017).
- 4) M. Morsin *et al.*, *Sensors*, **17**, 947 (2017); DOI:10.3390/s17050947
- 5) 高田あかり, 濱上寿一, 2019 年度関東学院大学理工/建築・環境学会研究発表講演論文集, pp.36-37 (2019).

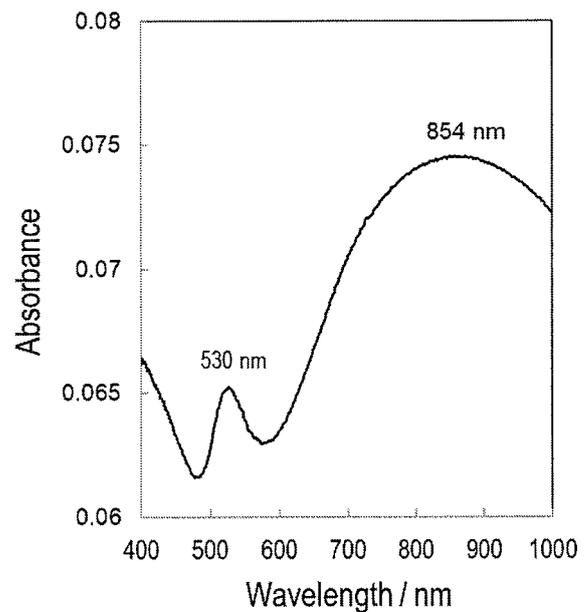


図 1. 浸漬法を用いて疎水性アミノ基修飾ガラス上に析出した金ナノプレートの吸光度スペクトル

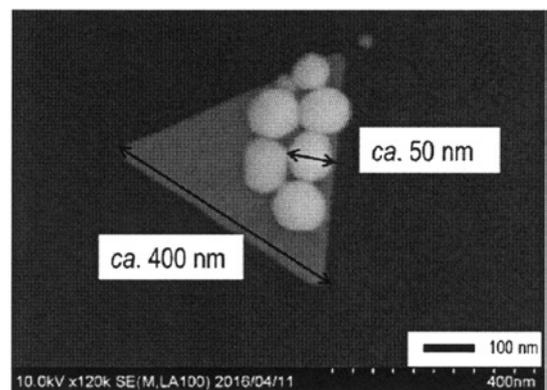


図 2. 浸漬法を用いて疎水性アミノ基修飾ガラス上に析出した金ナノプレートの FE-SEM 写真

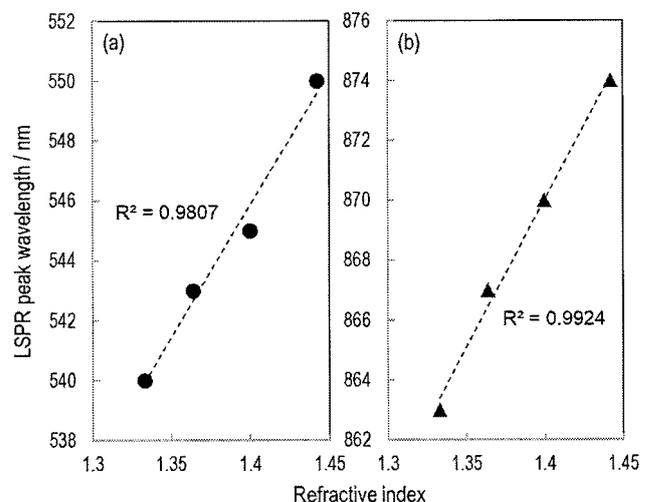


図 3. 金ナノプレートの LSPR ピーク波長位置とスクロース水溶液の屈折率との関係
(a) Transverse surface plasmon resonance,
(b) Longitudinal surface plasmon resonance

水道水源における農薬の検出状況と浄水処理性

物質生命科学専攻 甘利 潤樹
指導教授 鎌田 素之

1 はじめに

高い殺虫効果を持つ、殺虫薬のネオニコチノイド系殺虫剤やフィニルピラゾール系殺虫剤は、2018年にミツバチの個体減少と関連が深いことが報告され、これを受けEUでは使用を全面的に禁じた。また、2019年11月にアフリカ科学アカデミーネットワークと南アフリカ科学アカデミーが共同してアフリカにおけるネオニコチノイド系農薬の使用について、全体で緊急の予防的アプローチを求める報告書を発表した¹⁾。このように世界では国境の枠組みを超えて様々な研究が報告されている中で、我が国ではあまり研究がされておらず、規制緩和に動いている。そこで本研究では、日本国内のフィプロニルの件出状況を確認し、図1に示すフィプロニルの負荷源について調査を行った。

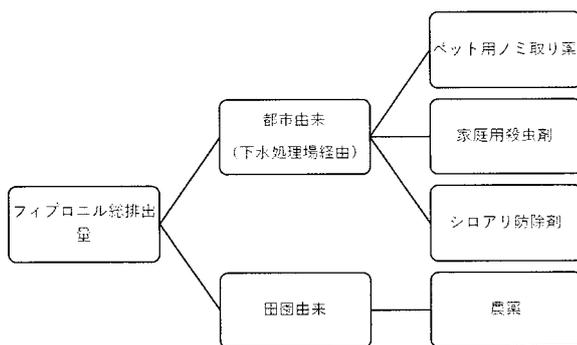


図1 フィプロニルの負荷源

2 研究方法

農地由来の負荷量を把握するため神奈川県内を流れる2つの水系から採水を行った。採水地点を図2と図3に示す。採水地点は2つの河川計11地点で採水した。採水日は2018年5/26, 5/27, 6/1, 6/3, 6/9, 6/10, 6/11, 6/12, 6/17, 6/17, 6/20, 6/23, 6/24, 6/30, 7/7, 7/22, 7/29, 8/6, 8/7, 8/16, 8/17, 8/24, 8/25, 8/31, 9/5, 9/8, 9/12, 9/18, 9/23, 10/9, 10/13, 11/17, 11/18, 12/25, 2019年1/26, 1/27の計35回(亀の甲橋は6/10が6/11)(亀の甲橋と落合橋は天候の変化に伴い6/23に二度採取を行っている)行った。

採水したサンプルを250 mL取り、ガラスろ紙GS-100(ADVANTEC社製)を使用し試料水をろ過し、ギ酸でpH3以下に調整した。Oasis HLB Plusカラム(Water社製)をMeOH5 mL, 超純水10 mLでそれぞれ洗浄し、コンセンレーター(Water社製)を用いて10 mL/minの流速で通水した。通水した Oasis

HLB Plusを窒素ガスで脱水し、乾燥させた後、MeOHで10 mLで抽出した。その後、窒素気流下で0.1 mL以下になるまで減容し、MeOHで1 mLに定容した。その後、0.2 μmのメンブレンフィルターでろ過し、測定用試料とした。前処理した試料はLCMSを使用して分析し、フィプロニル、フィプロニルスルホン、フィプロニルスルフィドの3種の物質を定量した。

また、農地で農薬として使用される以外のフィプロニルの量を把握するため鶴見川流域内にある動物病院を調べ、各動物病で使用されるフィプロニルを含むペット用ノミ取り薬の使用量をアンケート調査によって把握した。

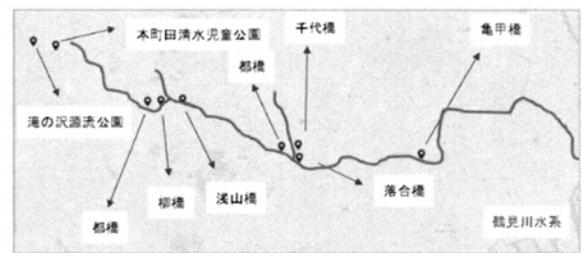


図2 鶴見川水系の採水地点



図3 金目川水系の採水地点

4 研究結果

各採水地点で検出された結果を図4に示す。図4から分かる事として、農薬のシーズンである6~7月にかけてフィプロニルの濃度が上がり、その後9~10月にかけて徐々に下がっていくことが分かる。また、都橋以前の検出量は0であるが、柳橋付近で多くのフィプロニルが検出されている。これは都橋と柳橋の間にある下水処理場を経由した都市から排出されたフィプロニルであると考えられる。

神奈川県全体ではフィプロニルの使用率は低く平成29農薬年度では29kgしか使用されていない。しかし、日本全国では平成29農薬年度には14441kg使用されている。また、作物の生産量の多い県はフィプロニルの排出量も多くなっている²⁾。神奈川県内全土で29kgしか使用されていないフィプロニルのうちの一つの河川からフィプロニルが0.00317μg/Lで検出された。収穫量が多い県ではより多くのフィプロニルが検出される恐れがある。

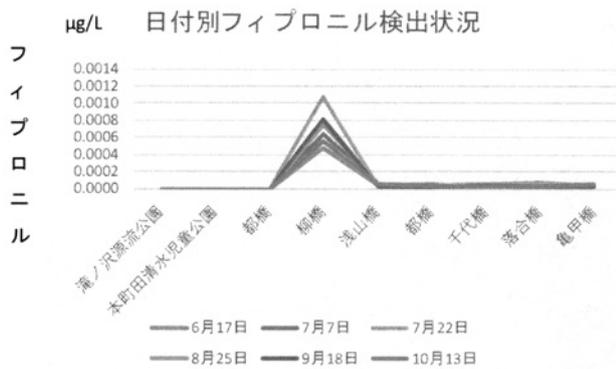


図4 鶴見川水系におけるフィプロニル検出状況

表1 各動物病院の一年間のフィプロニル使用量

動物病院	(kg)
A	0.011
B	0.015
C	0.019
D	0.001
E	0.004
F	0.003
G	0.031
H	0.005
I	0.001
J	0.012
K	0.021
L	0.006
M	0.002
N	0.013
O	0.000

動物病院へのアンケート調査を実施し、回答が得られた15件のデータから2018年10月から2019年10月までの一年間に使用されたペット用

ノミ取り殺虫薬に起因するフィプロニルの使用量を表1に示す。鶴見川流域には全部で動物病院が117件存在するため、アンケートで回答が得られたデータから算出すると鶴見川流域では1.11kgのペット用ノミ取り薬が使用された事が分かった。

5 まとめ

本研究では、我が国のフィプロニル殺虫剤の検出状況を把握し、その負荷源について考察を行った。今回の研究では農地由来とみられるフィプロニルが最大で0.00317μg/Lあり、分解物の存在も確認された。また、フィプロニルは農薬だけではなく、都市では様々な殺虫剤の成分として使用されていることも今回の調査から明らかになった。アンケート調査により、ペット用ノミ取り薬はフィプロニルを含む製品からフルララネルやサロラネルを含む製品に移行していることが明らかになった。また、河川水においては、鶴見川水系からは水稻の時期を問わず一定量のフィプロニルが検出されていることから、農薬以外の都市由来のフィプロニルが大きな影響を与えていると考えられる。ペット用ノミ取り薬以外の都市で使用され、水環境へ流出するフィプロニルの起源と負荷量を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) Network of African Science Academies Neonicotinoid Insecticides: Use and Effects in African Agriculture http://research.assaf.org.za/bitstream/handle/20.500.11911/131/2019_assaf_neonicotinoids_african_agriculture_policymakers%27_booklet.pdf
- 2) 経済産業省, 農薬に係る適用対象別・対象化学物質別の届出外排出量推計結果, 平成29年度

ポリカプロラクトンジオールと種々の イソシアネート類からの重付加反応

物質生命科学専攻 粟ヶ窪 洋輔
指導教授 香西 博明

1. 緒言

近年、高分子材料を用いたプラスチック製品は耐熱性や物性において機能性の拡大により日常生活の様々なところで利用され、私たちの豊かな生活は支えられている。その中の一つであるポリウレタンは、水酸基(-OH)とイソシアネート基(-N=C=O)との重付加反応によって生成されるウレタン結合(-NHCOO-)を有する高分子材料である。さらに、強度や耐熱性に優れている上に腐食しないと言った利点を持つ材料であり、身近なところでは接着剤や合成繊維、クッション材料や医療材料等として幅広く使用されている。

そこで本研究では、耐熱性や対候性に優れ、生分解性を持つ、ポリカプロラクトンジオール (PCL) を用いて新規なポリウレタンの合成を行い、その性質の検討を行った^{1,2)}。

2. ポリカプロラクタンジオールとペンタメチレンジイソシアネートからのポリウレタンの合成およびその性質

2.1 緒言

現在、石油由来原料を用いた製品は優れた機能性を有していることから、我々の生活の中で多く用いられている。しかし、石油由来原料であることから、廃棄する際、環境への負荷が問題となっている。さらに、石油価格の高騰により、ポリマー合成において、省資源かつ省エネルギーなども課題となっている。そこで本章では、反応工程の省エネルギー化を目的とし、透明性、非化石資源の活用による環境負荷低減などの特性を持つ、ペンタメチレンジイソシアネート (PDI) を用いてポリウレタンを合成し、その諸性質について検討を行った。

2.2 実験方法

2.2.1 プレポリマー(PCL-F)の合成

PCL2000 2.00 g (1.0 mmol) を DMF 2 mL に溶解後、PDI 0.36 g (2.0 mmol) および触媒としてジラウリン酸ジブチルズ 0.012 g (0.029 mmol) を加え、100 °C で 2 時間加熱かくはんし、プレポリマーを合成した。以下、合成したプレポリマーを PCL-P とする。

2.2.2 ポリウレタン(PCL-PB)の合成

PCL-P を合成した後、鎖延長剤として 1,4-ブタンジオールを 0.11 g (1.1 mmol) を加えさらに、1 時間 100 °C で加熱かくはんした。得られた生成物は 10 倍量のメタノールに沈殿させ、回収した。得られたポリウレタンは以下、PCL-PB とする (図 1)。

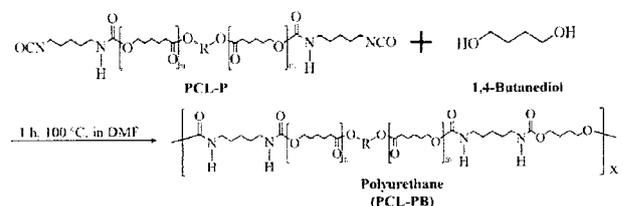


図 1. Synthesis of PCL-PB.

2.3 結果及び考察

2.3.1 PCL-PB の合成

PCL-PB は、収量 2.16 g (収率 86%) であり白色の粉末で得られた。

FT-IR 測定による構造解析の結果、図 2 に示すようにウレタン結合による 3400 cm^{-1} 付近に N-H 伸縮振動、1700 cm^{-1} 付近に C=O 伸縮振動、1100 cm^{-1} 付近に C-O 伸縮振動を確認した。¹H NMR 測定による構造解析から、2.9 ppm 付近にウレタン結合に由来する N-H のピークを確認できたことから、目的合成物であることが分かった。

2.3.2 TG-DTA 測定の結果

TG-DTA 測定による、熱重量損失温度(T_b)の測定では、PCL-PB の 10%熱重量損失温度は 300 °C 付近であることが分かった (図 3)。

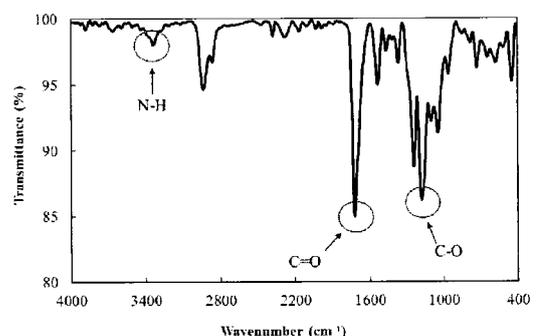


図 2. FT-IR spectrum of PCL-PB.

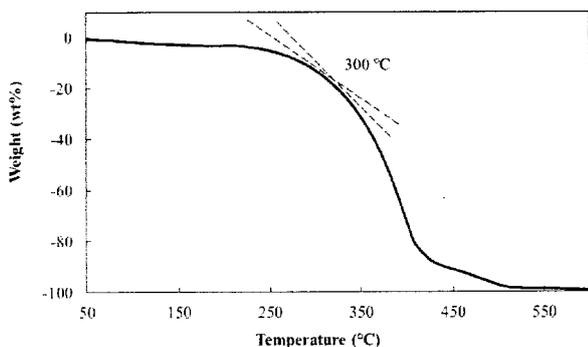


図 3. TGA curve of PCL-PB.

3. ポリカプロラクタンジオールとリジントリイソシアネートからのポリウレタンの合成およびその性質

3.1 緒言

近年、合成高分子材料を用いたプラスチック製品は、機能が向上し日常生活の様々なところで利用されている。しかし、これらのプラスチック製品は生産量の増加に伴い、使用後の廃棄方法とそれによる環境負荷が問題となっている。そこで本章では、ポリウレタン樹脂系接着剤の原料として使用され、生分解性を持つジオールである PCL と三官能のイソシアネートでありアミノ酸の一種であるリジン为原料としているため分解後、低毒性であるとされるリジントリイソシアネート (LTI) を用いてポリウレタンの合成を行い、その性質および生分解性についても検討を行った。

3.2 実験方法

ポリウレタンの合成経路を図 4 に示す。PCL1000 0.91 g (0.9 mmol) あるいは PCL2000 1.82 g (0.9 mmol) と LTI 0.16 g (0.6 mmol) をクロロホルム 2 mL に溶解後、触媒として、ジラウリン酸ジブチルすず 0.012 g (0.029 mmol) を加え、60 °C で 10 分間かくはんした。得られた生成物はテフロンシャーレに移し、自然乾燥後、メタノールで洗浄し、回収した。以下、合成したポリウレタンは PCL-LTI とする。

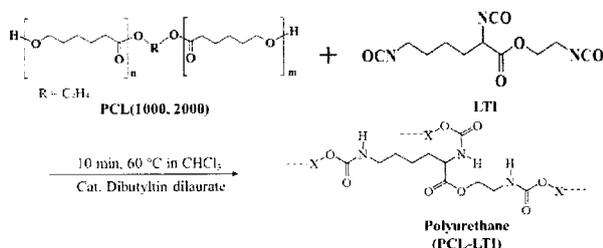


図 4. Synthesis of PCL-LTI.

3.3 結果及び考察

3.3.1 PCL-LTI の合成

得られた PCL-LTI は、PCL1000 では、収量 0.88 g (収率 82%)、PCL2000 では、収量 1.30 g (収率 65%) であ

り、ともに白色半透明のフィルム状であった。FT-IR 測定の結果から、PCL1000 では、3500 cm^{-1} から 3200 cm^{-1} 付近にウレタン結合による N-H 伸縮振動、2900 cm^{-1} 付近にアルカンによる C-H 伸縮振動、1700 cm^{-1} 付近にウレタン結合によるカルボニルの C=O 伸縮振動、1100 cm^{-1} 付近に C-O 伸縮振動が確認できたことから、目的生成物であることがわかった。PCL2000 においても、PCL1000 と同等のピークを確認できた。

3.3.2 TG-DTA 測定の結果

TG-DTA 測定による、熱重量損失温度(T_b)の測定では、PCL-LTI の 10%熱重量損失温度は PCL1000 では 250 °C 付近、PCL2000 では 230 °C 付近であることが分かった。

3.3.3 PCL-LTI の力学的性質

PCL1000 では、破断点-応力 (T_B) 8.04 MPa、破断点-ひずみ (E_B) 319%、ヤング率 (E) 38.76 MPa であり、PCL2000 では、破断点-応力 (T_B) 0.78 MPa、破断点-ひずみ (E_B) 214%、ヤング率 (E) 0.22 MPa であった。以上の結果より丈夫なフィルムであることがわかった。

3.3.4 生分解性の検討

加水分解と豚膵臓由来のリパーゼを用いた酵素分解を各々行った結果、加水分解では 90 日間で、約 10% の重量減少、酵素分解では、30 日間で約 20% の重量減少を確認できた。SEM による酵素分解物の表面観察を行った。その結果、図 5 に示すように、分解前の合成物の表面と比較し、ボイドの増加を観察できた。これは、表面から深部にかけて、徐々に分解が進行していると考えられる。

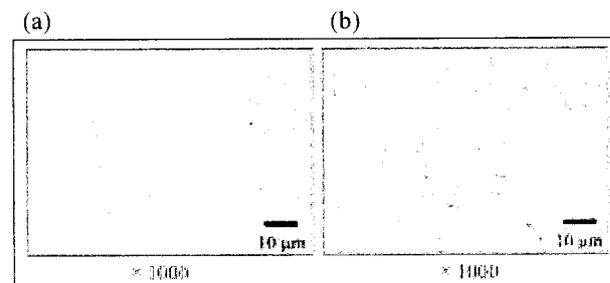


図 5. SEM photograph of the surface of PCL-LTI films, (a) before degradation, (b) after 30 days degradation.

4. 総括

本研究において、PCL を用いた合成高分子は、多種多様なイソシアネートと反応させることで違った性質を持ち、生分解性の可能性も広がる。また、物性の向上も見込まれるため、多くの製品への使用が可能である。

5. 参考文献

- 1) 稲葉奈美子, 香西博明, 高分子論文集 **62** (11) 541-545 (2005).
- 2) 白波瀬朋子, 波多野道子, 大塚英幸, 高原 淳, 日本ゴム協会誌, **82** (8), 349-355 (2009).

高耐食性を有する無電解 Ni-Sn-P めっきの開発

物質生命科学専攻 石川 駿
指導教授 香西 博明

1 緒言

近年、電子機器はより身近になり、モバイル化することによって電子機器に飲料をこぼす等の事故が多発している。これに伴い、従来行われてきた塩水噴霧試験等の耐食性試験方法とは異なる多様な腐食液に対する耐食性も求められている。

そこで、優れた耐食性を有し、リンやスズと合金を形成することにより高い耐食性を示すニッケルに着目し、無電解 Ni-Sn-P めっきのエアーの有無や浴 pH、錯化剤種による皮膜組成への影響について種々検討を行った。ここで、Ni-Sn-P 皮膜は Sn 含有率が 25 wt%を超えると非常に優れた耐食性を示すことから、未だ報告されていない皮膜中の Sn 含有率約 30~50 wt%を目標とした。

2 実験方法

試験基板には銅板(10 mm×25 mm×0.2 mm)を使用し、表 1 のめっき工程にしたがって無電解 Ni-Sn-P めっきを 30 分間施した。なお、陰極電解脱脂およびアルカリ浸漬脱脂の浴組成を表 2 に示す。

次に無電解 Ni-Sn-P めっきの基本浴組成およびめっき条件を表 3 に示す。pH 調整には水酸化ナトリウム水溶液および希硫酸を用いた。錯化剤には酢酸、プロピオン酸、コハク酸、グリシン、グリコール酸、乳酸、リンゴ酸、クエン酸の 8 種類を使用し、添加濃度は 0.6 cM/L とした。

キレートモル(cM)とは²⁾、錯化剤個々に持つ配座数を考慮に入れた考え方。配座数 1 の場合のキレートモルは、一般的なモルと同一であるが、配座数が複数の場合は、一般的なモルに個々の配座数を掛けた数値がキレートモルになる。この方法を用いることにより、異なる錯化剤でもほとんど同等の濃度条件で比較が可能になると考えられる。例えば、単座配位子の酢酸 1.0 モル、四座配位子のクエン酸 0.25 モルは、ともに 1.0 cM となる。

建浴直後は浴安定性が著しく悪く、条件によっては昇温時およびめっき中にめっき浴の分解、白濁および沈殿を確認した。このため、錯体の安定化を目的として、建浴後に 12 時間以上の放置期間(熟成時間)を設けた後にめっきを行った。また、この放置期間とめっき中にエアーを連続的に導入し、その有無による皮膜組成への影響を確認した。

評価項目は重量法による析出速度、FE-EPMA による皮膜組成分析、GD-OES による深さ方向分析、

耐食性試験を行った。耐食性試験は耐食性に優れることで知られている Ni-P 皮膜と Ni-Sn-P 皮膜を 10 mm×10 mm に被覆したサンプルを各々作製し、それぞれ 0.1 mol/L の塩酸、硝酸、硫酸、炭酸水素ナトリウムに浸漬し、経時的な外観変化を評価した。

表 1 無電解 Ni-Sn-P めっき工程

陰極電解脱脂(1 A/dm ²) ; 50 °C 1 min ▽ : 水洗
アルカリ浸漬脱脂 ; 50 °C, 3 min ▽ : 水洗および湯洗
酸活性(H ₂ SO ₄ 10 %) ; R.T, 1 min ▽ : 水洗
触媒付与(PdCl ₂ 0.1 g/L) ; R.T, 1 min ▽ : 水洗
無電解 Ni-Sn-P めっき ; 80 °C, 30 min ▽ : 4 段水洗

表 2 陰極電解及びアルカリ浸漬脱脂の浴組成

水酸化ナトリウム	2 g/L
クエン酸三ナトリウム	8 g/L
ナロアクティール N-120	10 g/L

表 3 無電解 Ni-Sn-P めっきの基本浴組成

硫酸ニッケル・六水和物	0.10 mol/L
塩化第二スズ・五水和物	210 mmol/L
錯化剤	0.6 cM/L
硫酸アンモニウム	0.25 mol/L
グルコン酸ナトリウム	420 mmol/L
次亜リン酸ナトリウム・一水和物	0.20 mol/L
硝酸鉛	0.10 mg/L
pH ; 7.5, 8.5, 9.5	浴温 ; 80 °C

3 結果および考察

錯化剤に酢酸、プロピオン酸、コハク酸、グリシン、グリコール酸、乳酸、リンゴ酸、クエン酸のそれぞれ8種類を用いて建浴を行い、得られた皮膜をFE-EPMAで定量分析を行った。その結果、酢酸、プロピオン酸、コハク酸、クエン酸を錯化剤に用いためっき浴で得られた皮膜は最大のSn含有率が25wt%を超えていたことから、無電解Ni-Sn-Pめっきに適した錯化剤であることを確認した。

錯化剤に酢酸を用いためっき浴の皮膜組成と成膜速度の関係を図1に示す。pH9.5の時にSn含有率が最大となり、30wt%を超えることを確認した。

次に、エアーを導入し、同様に8種類の錯化剤を用いためっき浴の建浴を行い、得られた皮膜をFE-EPMAを用いて定量分析を行った。その結果、プロピオン酸、コハク酸、グリシン、クエン酸を錯化剤に用いためっき浴で得られた皮膜は最大のSn含有率が25wt%を超えていたことからエアーを導入した無電解Ni-Sn-Pめっきに上記の錯化剤が適していることを確認した。

エアーを導入した酢酸浴の皮膜組成と成膜速度の関係を図2に示す。図1と図2を比較するとエアーを導入することでSn含有率は著しく減少しており、エアーの導入により皮膜組成に変化が生じることを確認した。また、エアーの有無に関わらずSn含有率が25wt%を超えていたことから錯化剤にプロピオン酸、コハク酸、クエン酸が適しており、成膜速度の関係からプロピオン酸とコハク酸が好適であると確認した。また、前任者の実験結果では³⁾、皮膜中のスズは均質に共析していない可能性を示唆していたが、GD-OESによる深さ方向分析の結果から、スズは均質に共析されたことを確認した。

さらに、無電解Ni-Sn-Pめっきに適した錯化剤の一つであるコハク酸を用い、耐食性試験を行った結果を図3に示す。Ni-Pめっき皮膜(10wt%)と比較し、硝酸と炭酸水素ナトリウムに対し、Ni-Sn-Pめっき皮膜(Sn30wt%)が優れた耐食性を示すことを確認した。

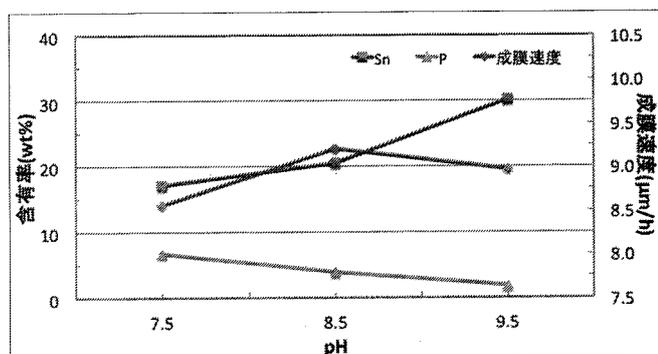


図1 酢酸浴における無電解Ni-Sn-Pめっき皮膜の皮膜組成と成膜速度の関係

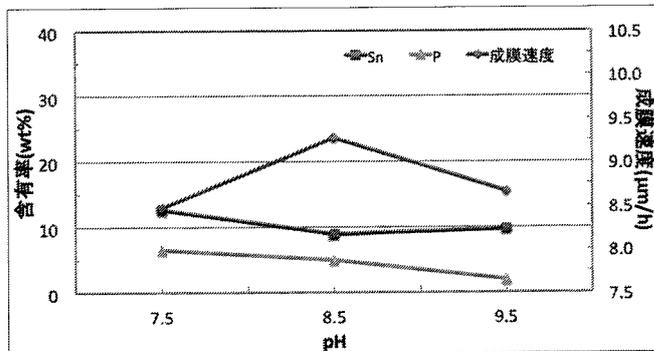


図2 エアーを導入した酢酸浴における無電解Ni-Sn-Pめっき皮膜の皮膜組成と成膜速度の関係

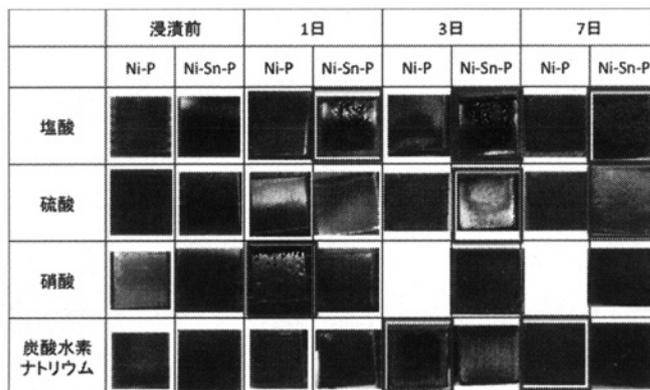


図3 耐食性試験結果

4 結言

無電解Ni-Sn-Pめっき浴から得られる皮膜組成はめっき浴中の錯化剤種や浴pH, エアーの有無に影響されることを確認した。また、腐食液の中でも硝酸および炭酸水素ナトリウムに対して優れた耐食性を示すことを確認し、均質にスズが共析した試料の作製に成功した。

本検討では皮膜中のSn含有率は、最大で33.3wt%まで増加することを確認した。詳細な分析は終了していないため、本論文に記載していないが、塩化第二スズ・五水和物を基本めっき浴組成の2倍濃度添加することで、皮膜中のSn含有率は43wt%を超えることを確認している。これらの手法を組み合わせることで、めっき皮膜中のSn含有率の向上と共に耐食性の向上も期待できると考えられる。

参考文献

- 1) 高耐食性Niめっき液の開発
/http://qualtec.co.jp/seminar/pdf/electrotest_2011_1.pdf
- 2) 田代雄彦, 山本誠二, 石川 薫, 中里純一, 本間英夫; エレクトロニクス実装学会誌, Vol.5, No.4, pp.359-364(2002).
- 3) 須藤優太: 2013年度修士論文“優れた耐食性を有する無電解Ni-Sn-P合金めっきの開発”

竹繊維添加 ABS 樹脂へのめっき評価および環境影響評価

物質生命科学専攻 大井 康寛
 指導教授 香西 博明
 指導教員 佐野 慶一郎

1. 緒言

近年、世界的に自動車が増加し、産業活動や生活を支えている。しかし、自動車のライフサイクルは、大量の資源とエネルギーを必要とし、CO₂ (Carbon dioxide) を多く排出している。

これらの課題に対する解決策の一つとして、世界では、近年、バイオマスの有効利用が進められている。

特に、環境を重視するドイツでは、自動車産業において、天然繊維の利用が進んでいる。ドイツ国内で生産される乗用車は、20 kg/台前後の亜麻繊維が樹脂に添加されている。また、近年、アジアでは、欧州での亜麻の代替繊維として、竹幹の繊維が期待される。

竹繊維を添加した自動車樹脂材料の研究事例として、九州工業大学の西田らは、ポリプロピレン樹脂に竹繊維を入れて機械的強度の向上に成功している。しかし、竹繊維を添加した ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 樹脂の研究報告は、見られず、その装飾めっきの研究事例も見られない。

竹繊維を樹脂に添加することによる利点は、四つある。ひとつ目は、ガラス繊維よりも天然繊維を樹脂に添加し用いることにより、部品重量が軽減される。ふたつ目は、天然繊維の利用は、化石資源の消費の削減になることである。三つ目は、天然繊維を添加した樹脂部品の生産は、従来の製造工場への追加設備で可能となることである。四つ目は、サーマルリカバリーにより、熱エネルギーと電力が得られる。そのため、石炭、天然ガスの消費削減につながると考えられる。

本研究では、竹繊維添加 ABS 樹脂の環境負荷を LCA (Life Cycle Assessment) 手法により、評価した。本研究における環境負荷の指標は、CO₂ 排出量とした。また、上記材料の物性と銅めっき成膜性を評価し、電気銅めっき皮膜の密着強度の向上のための比較および検討を行った。

2. 竹繊維添加 ABS 樹脂の LCA

2.1 LCA 方法

竹繊維添加 ABS 樹脂の LCA の評価範囲を図 1 に示す。本研究では、伐採した孟宗竹の竹繊維を使用すると仮定した。竹繊維添加 ABS 樹脂のライフサイクルの CO₂ 排出量は、各工程で投入される資源、エネルギーに投入物の製造時の CO₂ 排出原単位²⁾ を乗じ、その合計値とした。また、使用後、竹繊維添加 ABS 樹脂

は、燃焼される。竹は、光合成で吸収した CO₂ 量と燃焼で発生する CO₂ 量が同じとするカーボンニュートラルを有するバイオマスである。そのため、本研究では、竹幹 1 kg の CO₂ 吸収量を式(1)により概算した。

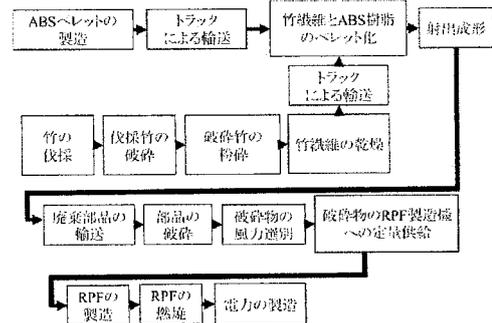


図 1 竹繊維添加 ABS 樹脂の LCA の評価範囲

$$E = \frac{A + 10,000}{B \times 1,000 + 10,000} \div C \times D \quad (1)$$

- A: 竹林 1 ha あたりの竹の平均生育本数 (本/ha)
- B: 竹林 1 ha あたりの平均炭素貯蔵量 (t-C/ha)
- C: 竹幹 1 本あたりの平均重量 (kg/本)
- D: CO₂ 換算係数 (3.67)
- E: 竹幹 1 kg あたりの CO₂ 吸収量 (kg-CO₂/kg)

また、本研究では、LCA を行うにあたり、ドイツの thinkstep 社製の LCA ソフトウェア GaBi を用いた。

2.2 LCA 結果と考察

図 2 に竹繊維添加 ABS 部品の LCA 結果を示す。

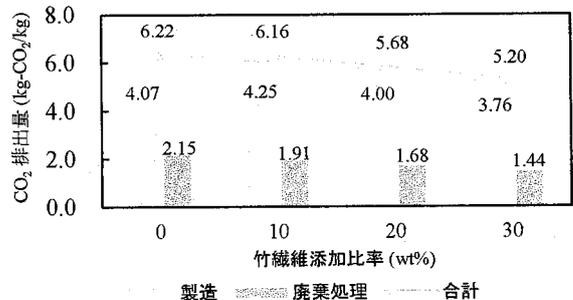


図 2 竹繊維添加 ABS 部品の LCA 結果

竹繊維添加 ABS 部品のライフサイクルは、添加しなかった場合と比較し、総 CO₂ 排出量が削減されることを確認

した。これは、ABS樹脂の製造量の抑制と竹のカーボンニュートラル効果により、総CO₂排出量の削減が試算されたと考えられる。

3. 竹繊維添加 ABS 樹脂へのめっき成膜性

3.1 竹繊維添加 ABS 樹脂の物性評価

3.1.1 試験方法

本研究では、ISO178にて、竹繊維添加 ABS樹脂の曲げ強度を測定した。曲げ試験機は、ドイツのチューリンゲン繊維プラスチック研究所が所有する INSTRON 社製 5900R を使用した。

3.1.2 試験結果と考察

竹繊維添加 ABS樹脂の曲げ試験結果を図3に示す。

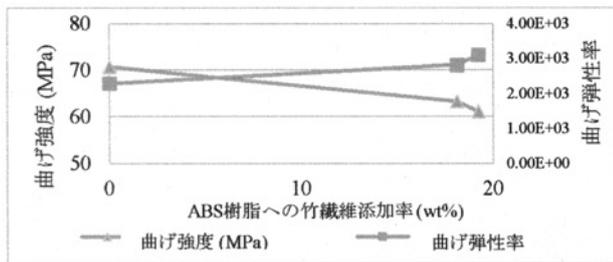


図3 竹繊維添加 ABS樹脂の曲げ試験結果

竹繊維の添加率の増加に伴い、若干の曲げ強度の低下と曲げ弾性率の上昇が見られる。このことは、添加している竹繊維長が短いためと考えられる。今後は、プレス熱成形にて、ABS樹脂に長い竹繊維を添加し、無水マレイン酸などの添加剤の使用により、曲げ破壊強度は、より上昇すると予想できる。

3.2 竹繊維添加 ABS樹脂の銅めっき性評価

3.2.1 めっき方法

ABS樹脂表面と電気銅めっき皮膜の密着性は、竹繊維を添加することにより、低下すると考えられる。

本研究では、無電解めっきの前処理工程として、供試材表面へのUV(Ultraviolet)照射後、硫酸とアルカリ類の水溶液による供試材のエッチング処理による竹繊維の分解を試みた。本研究の実験工程を図4に示す。

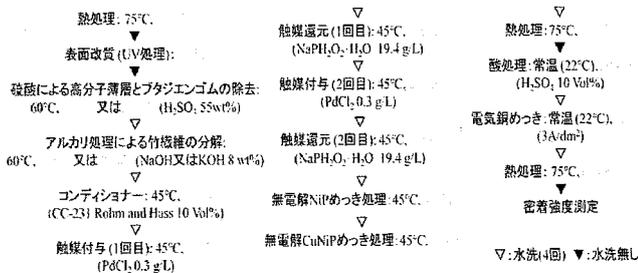


図4 硫酸とアルカリ類の水溶液による実験工程

3.2.2 実験結果と考察

図5に竹繊維添加 ABS樹脂の電気銅めっき皮膜の密着強度を示す。

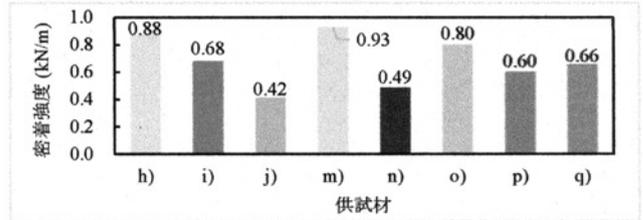


図5 竹繊維添加 ABS樹脂の密着強度

- h) ABS樹脂のみ、UV 3分間照射後、65°CのNaOH10 wt%水溶液中 2分間浸漬
- i) 竹繊維 10 wt%添加 ABS樹脂、供試材 h)と同条件
- j) 竹繊維 20 wt%添加 ABS樹脂、供試材 h)と同条件
- m) 竹繊維 10 wt%添加 ABS樹脂、UV 3分間照射後、60°Cの硫酸 55 wt%水溶液中 20分間と 60°CのNaOH8 wt%水溶液中 60分間浸漬
- n) 竹繊維 20 wt%添加 ABS樹脂、供試材 m)と同条件
- o) 竹繊維 10 wt%添加 ABS樹脂、UV 3分間照射後、60°Cの硫酸 55 wt%水溶液中 20分間と 60°CのKOH8 wt%水溶液中 60分間浸漬
- p) 竹繊維 20 wt%添加 ABS樹脂、供試材 o)と同条件
- q) 竹繊維 20 wt%添加 ABS樹脂、UV 3分間照射後、60°Cの硫酸 55 wt%水溶液中 30分間と 60°CのKOH8 wt%水溶液中 90分間浸漬

その結果、供試材 m)の密着強度が最も高いことが確認された。この理由は、以下の要因が考えられる。

- ① 竹繊維の添加量が少ない
- ② UV照射による供試材表面の化学的改質
- ③ 硫酸水溶液への浸漬による供試材表面の凝集力の弱い薄膜とブタジエンゴムの除去
- ④ NaOH水溶液への浸漬による供試材表面の竹繊維の分解

以上の表面処理方法によって、竹繊維添加 ABS樹脂の銅めっき皮膜の密着強度は、ABS樹脂のみと比較し、向上したと推察される。

4. 結言

1. 竹繊維添加 ABS樹脂のライフサイクルの総CO₂排出量は、竹繊維の添加量の増加により減少する。
2. 竹繊維添加 ABS樹脂の曲げ強度は、低下した。そして、曲げ弾性率は、上昇した。
3. 竹繊維添加 ABS樹脂(供試材 m))は、ABS樹脂のみ(供試材 h)と比較し、本研究の表面処理方法によって、高い銅めっき皮膜の密着強度が得られた。

5. 参考文献

- 1) 公益財団法人北九州産業学術推進機構, 平成 25年度戦略的基盤技術高度化支援事業; “高機能竹繊維を使った低炭素型軽量強化プラスチックコンポジットの開発 研究開発成果等報告書” pp.1-10 (2014年3月)
- 2) thinkstep(株) LCAソフトウェア GaBi

植物由来のクルクミンを用いた 新規な材料の合成

物質生命科学専攻 大谷 拓馬
指導教授 香西 博明

第1章 緒言

従来のプラスチック製品のほとんどが石油を原料としており、加工性、成形性に優れているため、大量生産が可能である。しかし、石油など環境資源の枯渇化や使用後の処理によって生じる二酸化炭素の増加などの問題が深刻化されている。2015年の国連サミットで持続可能な開発目標として採択されたSDGsにより、現在17の国際目標が定められている。その中の13個目の項目に挙げられている気候変動への対策として近年では、植物などのバイオマスを原料としたバイオマスプラスチックが注目されている。一般的にバイオマスプラスチックは、耐久性や耐熱性などが劣るとされているので、今後広く利用するためにはこれらの機能性の改善が必要となる¹⁾²⁾。そこで、本研究では、植物由来原料であるクルクミンを用いてポリウレタンの合成を行うことで機能性の改善に繋がると考え、様々な性質の検討を行った。

第2章 クルクミンと2官能性イソシアナート類を用いた直鎖状ポリウレタンの合成

2.1 緒言

本章では反応経路における省エネルギー化を目指し、速硬化性、バイオマス化が見込まれる1,5-ペンタメチレンジイソシアナート(PDI)をイソシアナートとしてポリウレタンを合成することで省エネルギー化が見込まれると考えた。また、三井化学(株)より提供して頂いた1,4-H₆XDIを用いてポリウレタンを合成することとした。1,4-H₆XDIは、従来のイソシアナートと比べても高い弾性、高耐熱性などの特性の向上が見込まれるとされており、現在のプラスチック材料より高度な機能性を示す可能性があると考えてポリウレタンの合成を行った。

2.2 実験操作

一例として、PDIを用いて得られるポリウレタンの合成方法を示す。50mL ナス型フラスコに溶媒と

して DMF 5mL にクルクミン(CU)1.85 g(5mmol)と PDI 0.85g(5mmol)を入れ、触媒としてジラウリン酸ジブチルすず 0.012g(0.029mmol)を加え、窒素雰囲気下で90°C, 1時間攪拌した。反応終了後、反応液を10倍量のメタノールに沈殿し、吸引ろ過により分離精製を行い、回収した(図1)。

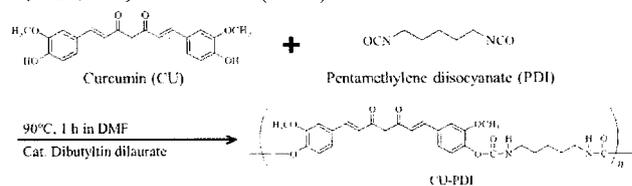


図1. Synthesis of CU-PDI.

2.3 結果及び考察

2.3.1 ポリウレタン(CU-PDI)の合成

一例として CU-PDI の実験結果及び考察を示す。CU-PDI は、収量 1.59 g (収率 59%)の橙色の粉末であり、GPCから数平均分子量 4200, 重量平均分子量 11000, 分子量分布 2.6であった。

¹H NMR 測定による構造解析の結果から、8.0 ppm 付近にウレタン結合に由来するピークを確認できたことから、目的生成物であることがわかった(図2)。

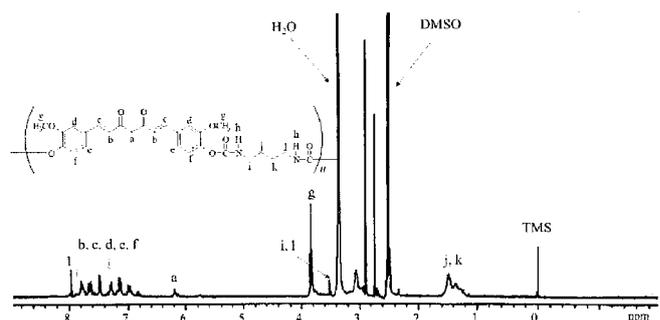


図2. ¹H NMR spectrum of CU-PDI in DMSO-d₆.

2.3.2 TG-DTA 測定の結果

TG-DTA 測定による、10%重量損失温度は 240°C 付近であることがわかった(図3)。

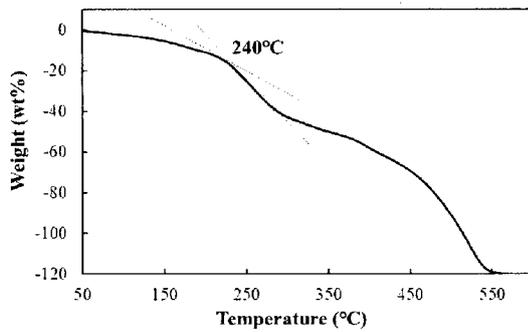


図 3. TGA curve of CU-PDI.

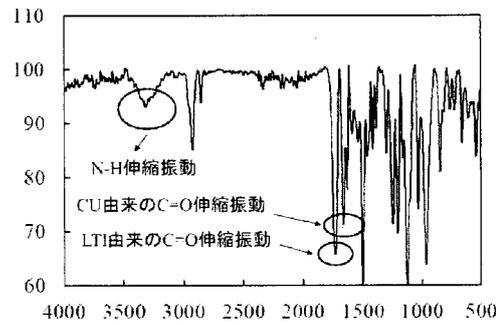


図 5. FT-IR spectrum of CU-LTI.

第 3 章 クルクミンとリジントリイソシアナートを 用いた架橋ポリウレタンの合成

3.1 緒言

本章では、植物由来のリジントリイソシアナートとクルクミンを用いることにより、強度や耐熱性などの機能性の向上とともに、植物由来原料同士の掛け合わせでポリウレタンが得られるため、環境負荷の低減に繋がると考え、得られるポリウレタンの性質についての検討を行った。

3.2 実験操作

50 mL ナス型フラスコに溶媒として DMF 3ml に、クルクミン (CU) 1.1g (0.3mmol) とリジントリイソシアナート (LTI) 0.53g (0.2mmol) を入れ、触媒としてジラウリン酸ジブチルすず 0.012g (0.029mol) を加え、窒素雰囲気下で室温で 1 時間かくはんした。反応終了後、反応液を 10 倍量のヘキサンに沈殿後、デカンテーションで上澄み液を取り除き、テフロンシャーレに投入し乾燥させた(図 4)。

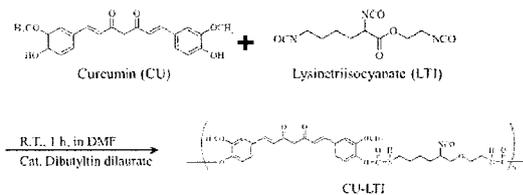


図 4. Synthesis of CU-LTI.

3.3 結果及び考察

3.3.1 ポリウレタン(CU-LTI)の合成

CU-LTI は、収量 1.18 g (収率 72%)であり赤褐色のフィルムで得られた。

FT-IR 測定により、ウレタン結合に由来する N-H, C=O 伸縮振動のピーク、クルクミン由来のケトン基のピークが確認できた(図 5)。

3.3.2 TG-DTA 測定の結果

図 6 に示すように、TG-DTA 測定による、CU-LTI の 10%重量損失温度は 200°C 付近であることがわかった。

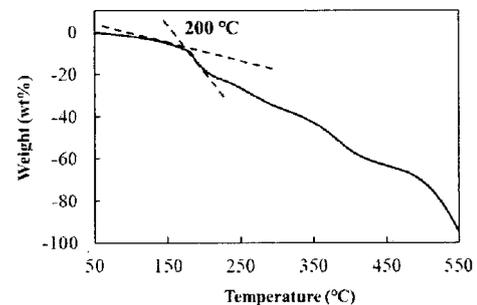


図 6. TGA curve of CU-LTI.

第 4 章 総括

本研究では原料をクルクミンとして得られるポリウレタンについて検討を行なった。多種のイソシアナート類とクルクミンを反応させることで新たな特性や、クルクミンが持つ β ジケトン構造に由来する光分解性³⁾の可能性も広がると考えた。そこで、3 種類のイソシアナートについてポリウレタンの合成を行い、それぞれの物性について検討を行った。構造解析の結果から、どのイソシアナートを用いた際もウレタン結合に由来するピークが確認でき、ポリウレタンが得られたと考えられる。熱安定性において、それぞれ熱安定性に差異が生じており、用途としてはそれぞれ異なる用途で用いられる可能性があると考えられる。また、LTI を用いて合成したポリウレタンに関しては、光分解性の検討を行ったところ、30%の重量損失が見られた。

文献

- 1) O. Bayer and W.C. Shen, *Angew. Chem.*, 59, 275 (1947).
- 2) Y. Minoura, S. Yamashita, H. Okamoto and T. Matsuo, *J. Appl. Polym. Sci.*, 22, 1817 - 3101 (1978).
- 3) 松見紀佳, 中村奈美子, 青井啓悟, 日本化学会講演予稿集, 89(2), 816 (2009).

非水溶媒を用いたアルミニウム電析における 金属塩化物の微量添加効果

物質生命科学専攻 緒方 瞭
指導教授 小岩 一郎

1 緒言

アルミニウムは代表的な軽金属であり、耐食性、電気伝導性などが優れ、陽極酸化などの処理により物理、化学的特性が向上し、合金化により単体とは異なる特性を付与できる。そのためアルミニウムはバルク材料はもとより薄膜材料においては耐食材料、電子材料、光学材料など幅広い分野で応用が期待されている。

現在、鉄鋼材料への防錆めっきとして亜鉛が最も多く適用されている。防錆めっきは BRICs 諸国やアジアを中心に鉄鋼材料の需要が急増し、それに伴い亜鉛めっきの適用も増加が予想される。そのため、今後 20 年以内に亜鉛が枯渇すると懸念されているため、亜鉛に替わる新たな材料としてアルミニウムが注目を集めている。

しかし、アルミニウムの電析電位は水素発生よりも卑であるため水溶液を用いためっき法では析出できない。したがって、非水溶媒やイオン液体を用いた電析が研究されている。本実験ではジメチルスルホン (DMSO₂) を溶媒に用いた。DMSO₂ は高極性、高沸点、非プロトン性溶媒、広電位窓といった特徴を有する有機溶媒である。DMSO₂ は室温で固体であるが、熔融 DMSO₂ は無機塩、有機物、高分子など多様な溶質に対して優れた溶媒である。また揮発性が低く高温においても安定であり、多くの溶質に対して高い溶解度を示すので、電析浴の溶媒として理想的な物質である。^{1), 2)}

我が研究室では DMSO₂-AlCl₃ 溶媒に添加剤を添加することによる鏡面光沢を持っためっき作製の研究を行っている。先行の研究において、塩化モリブデン及び塩化タングステンを微量添加した際に鏡面のある電析膜が作製されたことが報告されている。そのため現在様々な金属塩を添加剤として用いた研究を行っている。その一つとして塩化ニオブを添加剤として用いた際に、一部に光沢のある試料が作製されたことが報告されている。³⁾

本研究では安定性の高い DMSO₂ を溶媒に用い、塩化ニオブを添加剤として用いた Al-Nb めっきを作製した研究結果を報告する。

2 実験方法

電析浴の組成は DMSO₂ と AlCl₃ のモル比 10 : 3 の浴 (全量 42.75 g) を基準とした。添加剤は塩化ニオブ

(V) を用いた。添加量に関しては浴中全金属塩 AlCl₃+NbCl₅ に対する NbCl₅ の濃度比 (NbCl₅ / (AlCl₃+NbCl₅) × 100 mol%) を 0.05~0.4 mol% とした。

電析は、電気化学的測定装置 (北斗電工社製、HZ-5000) を用い 3 電極法により行った。作用極、対極、参照極には、各々銅板 (10 mm × 10 mm)、純度 99.99 % アルミニウム板 (50 mm × 10 mm)、アルミニウム線 (φ 1 mm) を用いた。以下、電位は Al/Al³⁺ を基準としたものである。Cu 基板には前処理としてアルカリ脱脂 (8 g/L NaOH、10 g/L C₆H₅Na₃O₇) を行い、水洗し、めっき面積を規定するためにテーピング (1 cm × 1 cm) を施した後に、酸活性 (10 vol% HCl)、水洗を行ってから電析に用いた。

電析浴の前処理として浴温 150 °C で 30 分間電析浴の脱水処理を行った後に、密閉容器中で窒素ガス置換を行いながら浴温 120 °C、攪拌速度 500 rpm、電析電位 -2.0 ~ -6.0 V の定電位により総電荷量 5800 mC で電析を行った。

試料の表面観察には走査型電子顕微鏡 (SEM: KEYENCE 社製、VE-8800)、電析膜の組成分析にはエネルギー分散型 X 線分析 (EDS: 日本電子社製、JCM-6000)、結晶構造解析には X 線回折装置 (XRD: Rigaku 社製、RINT2200) を用いた。

3 結果および考察

3.1 外観写真

NbCl₅ 添加量 0.05~0.4 mol%、電位 -2.0 ~ -6.0 V で電析した試料の外観図を Fig. 1 に示す。0 mol% の試料は NbCl₅ を添加していない純粋なアルミニウムめっき膜である。

Fig. 1 より、NbCl₅ 添加量の変化及び電析電位の変化によって試料外観は大きく変化した。NbCl₅ を添加していない試料は白色の外観となり、光沢を確認することはできなかった。NbCl₅ 添加量 0.05~0.14 mol% までは光沢を持たないめっき膜となったが、NbCl₅ 添加量 0.2 mol% 以降の試料において部分的に鏡面光沢を持った試料が作製されたことを確認した。また同試料にて黒色の面も確認した。特に -3.0 V、0.2~0.4 mol% の試料において最も広い光沢面を持っためっき膜が作製されたことを確認した。しかし -2.0 V の試料においては黒色の面は減ったが波状の模様がめっき膜表面に発生し、光沢を確認することができなかった。

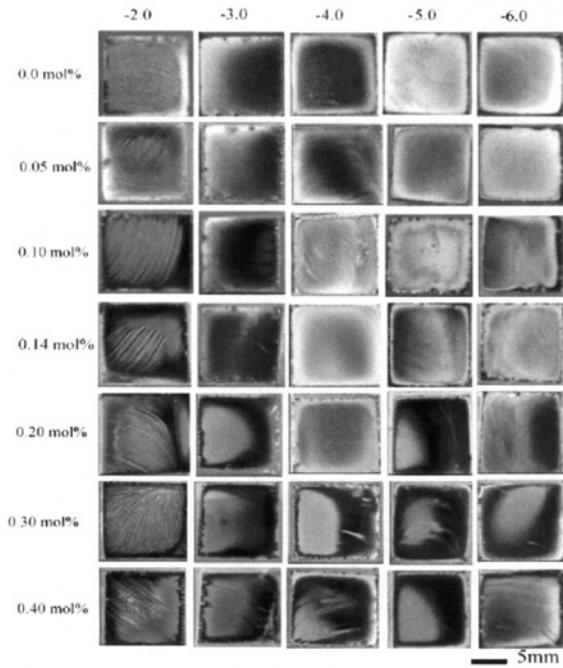


Fig. 1 外観写真 (Al-Nb)

3.2 SEM 像写真

NbCl₅ 添加量 0.2~0.4 mol%、電析電位 -2.0~-6.0 V で電析した試料の SEM 画像を Fig. 2 に示す。像はその試料で最も平滑な面を撮影したものである。

Fig. 2 より純粋なアルミニウムめっき膜は凸凹した表面形状となっており、-4.0 V を除く試料において平滑なめっき膜をもつ試料は得られなかった。それ以降の 0.2~0.4 mol% の試料においては純アルミニウムのめっき膜と比較して結晶粒径が大幅に細かくなっており、平滑なめっき膜となっていることが確認された。これより NbCl₅ 添加量が 0.2~0.4 mol% の試料において、添加剤の効果が十分に発生する条件であることを確認した。これらは NbCl₅ 添加することによって、電析浴中で Nb 化学種が電析の際にアルミニウムに作用することで、結晶粒が微細化したためと考えられる。

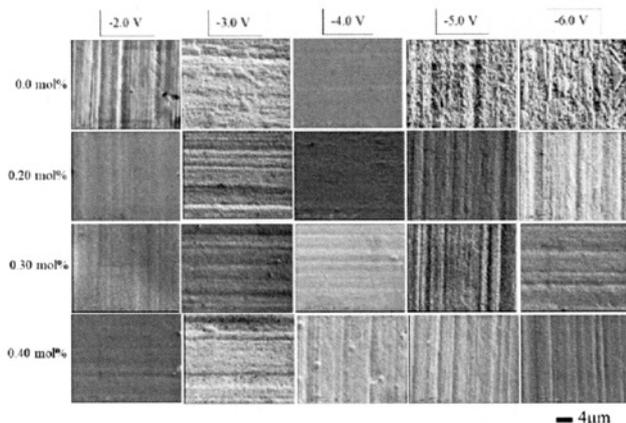


Fig. 2 SEM 画像 (Nb 0.2~0.4 mol%)

3.3 X線回折

試料の XRD パターンを Fig. 3 に示す。

Fig. 3 より、純粋なアルミニウムめっき膜において貴な電位になるほど Al(200) のピーク強度が強くなり卑な電位になるほど Al(200) のピーク強度が弱くなり Al(111) のピーク強度がやや高くなる傾向を確認した。NbCl₅ 添加した試料においては Al(111) における変化はほぼ見られなかったが、Al(200) は電析電位及び、添加量の増加によって変化した。特に添加量 0.2~0.4 mol%、電位 -4.0~-6.0 V の試料において、純アルミニウムの電析膜と比較して多くの試料がより強く Al(200) に配向していることを確認した。

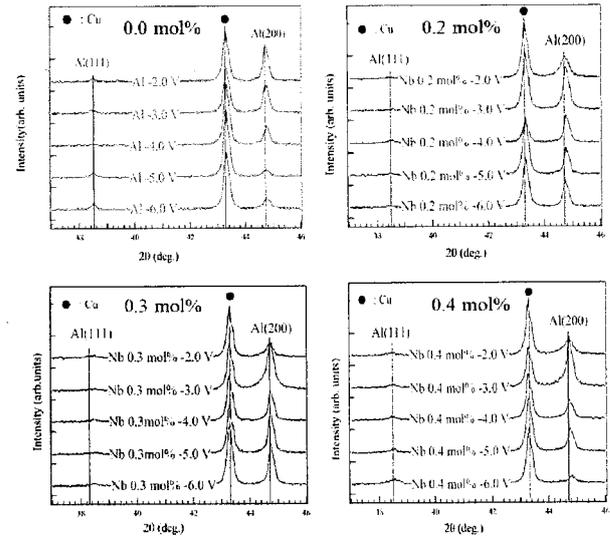


Fig. 3 XRD パターン (Al-Nb)

4 結言

実験結果より、Al-Nb めっきは NbCl₅ 添加量及び、電位の変化によってめっき膜外観に大きな変化を与えた。SEM 画像より 0.2~0.4 mol% の試料において純アルミニウムのめっき膜と比較して結晶粒径が大幅に細かくなっており、平滑なめっき膜となっていることが確認された。XRD より添加量 0.2~0.4 mol% の試料において、純アルミニウムのめっき膜と比較して多くの試料がより強く Al(200) に配向していることを確認した。NbCl₅ を添加することによって、電析浴中で Nb 化学種が電析の際にアルミニウムに作用することで、結晶粒が微細化したためと考えられる。

5 参考文献

- 1) S. Shiomi, M. Miyake, and T. Hirato, J. Electrochem. Soc. 159, D225 (2012).
- 2) S. Shiomi, M. Miyake, and T. Hirato, J. Japan Institute Light Metals, 63, 6. 234-242 (2013).
- 3) 伊藤雄弥: 有機溶媒を用いたアルミニウム電析における添加剤効果, 関東学院大学大学院 修士論文, 33-46, (2016)

めっき皮膜と抗菌効果の関係

物質生命科学専攻 須郷 美智子
指導教授 田代 雄彦

1 緒言

我々の身の回りには、様々な微生物が生存しており、生活に密接に関わっている。例えば、乳酸菌は発酵食品、酵母は醸造アルコールの製造に欠かすことができず、近年では生分解性プラスチックであるポリ乳酸やバイオエタノールの製造など、産業利用を目的に様々な微生物が利用され、同時に多くの研究開発が行われている¹⁾。

一方、微生物による被害も多く、バイオフィーム形成に伴う給・排水の流水障害や熱交換器の効率低下の問題がある。また、黄色ブドウ球菌、腸管出血性大腸菌(O157)、さらにはレジオネラ菌などの病原性を有する微生物も多く存在し、しばしば我々にとって脅威となる。過去に、食品工場の製造ラインや学校給食への病原性微生物の混入が原因とされる集団食中毒事件や循環式入浴施設でのレジオネラ症集団感染が大きく取り上げられた²⁾。

微生物による被害(汚染・感染)を防ぐために抗菌物質を用いるが、その多くは有機合成殺菌剤や抗生物質である。しかし、殺菌剤は食品中への残留、分解生成物の毒性もしくは投与・廃棄による環境負荷が問題視される。また、抗生物質は薬剤に対して耐性を得た多剤耐性菌の出現により、近年では使用が大変難しくなっている。この対応策として、有機系抗菌剤に代わる無機系抗菌剤や抗菌性を付与する表面処理が注目されている。無機系抗菌物質としては銀、銅、亜鉛、ニッケル、コバルトなどの重金属が挙げられ、これらの金属をベースに表面処理技術も多く開発されている¹⁾。

無電解ニッケルめっき法は、プラスチックなどの絶縁物や金属にも成膜でき、複雑な形状でも均一なめっきを可能とする特徴がある。加えて、比較的浴調整がしやすく、耐摩耗性の優れることに着目した。また、金属パッチテストの結果、最もアレルギー頻度の高い金属はニッケル、コバルト、スズ、クロムであり、頻度の低い金属は、金、亜鉛、銅、白金などである³⁾。これより、亜鉛めっき皮膜にも着目した。

そこで本研究では、無電解NiPめっき皮膜と抗菌効果の関係を明らかにするため、無電解NiPめっき浴のpHおよびめっき膜厚を種々変化させた。さらに、成膜法の相違による亜鉛めっき皮膜の抗菌効果も併せて検討した。

2 実験方法

2.1 無電解NiPめっき皮膜と抗菌効果の関係

試験基板には、株式会社山本鍍金試験機器製のハルセル®陰極板の鉄板を33.5 mm×25.0 mm×0.3 mmに切り出した。

本実験のめっき工程を表1に示す。また、表2に示した無電解NiPめっき浴のpH5.0~9.0で、膜厚を0.1~10.0 μm成膜させ、抗菌性能判定を行った。また、得られためっき膜の皮膜組成分析をFE-EPMAで行った。

抗菌性能判定試験は、めっき面を菌液(大腸菌、黄色ブドウ球菌、酵母)に接触させ菌の増減で判定する方法である。図1にこの結果の一例を示す。ここで、図1(a)のように試験片との境目に菌の増殖が見られなければ抗菌性はあると判断する。

2.2 亜鉛めっき皮膜と抗菌効果の関係

試験基板は、株式会社山本鍍金試験機器製のハルセル®陰極板の鉄板を33.5 mm×25.0 mm×0.3 mmに切り出した。めっき浴は、シアン化亜鉛浴、ジンケート亜鉛浴および塩化亜鉛浴を使用した。また、熔融亜鉛めっきは、同上の鉄板を20 mm×20 mm×0.3 mmに切り出し、秋田ジンクソリューションズ株式会社製の電極亜鉛板をハンダ用ポットで溶解し使用した。表3にめっき工程を示す。亜鉛溶射は、操作性の点から100 mm×100 mm×3 mmの鉄板を使用し、オオタテクノサポートへ作製を依頼した。抗菌性能判定は2.1節と同等とした。

表1 無電解NiPめっき工程

亜鉛めっき剥離(HCl 50%) ; R.T.
▽ : 水洗
アルカリ脱脂(NaOH 100 g/L) ; 50 °C, 5 min
▽ : 水洗
酸活性(H ₂ SO ₄ 10%) ; 25 °C, 1 min
▽ : 水洗
無電解NiPめっき ; 80 °C, 0.1~10.0 μm
▽ : 4段水洗

表2 無電解NiPめっき浴組成

硫酸ニッケル・六水和物	26.3 g/L
グリシン	22.5 g/L
次亜リン酸ナトリウム・一水和物	21.2 g/L
ビスマス	1.0 mg/L
pH5.0~10.0, 浴温 80±2 °C	

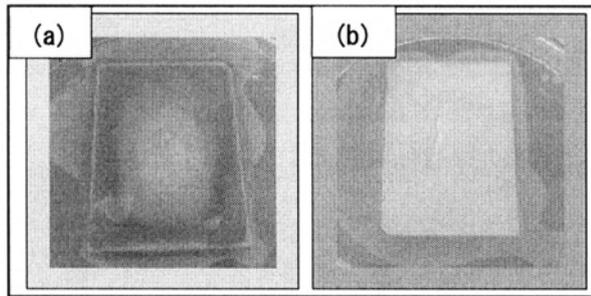


図1 抗菌性能判定結果一例
(a) : 抗菌性あり (b) : 抗菌性なし

表3 熔融亜鉛めっき工程

亜鉛めっき剥離 (HCl 50%) ; R.T. ▽ : 水洗
アルカリ脱脂 (NaOH 100 g/L) ; 50 °C, 5 min ▽ : 水洗
酸活性 (HCl 10%) ; 25 °C, 1 min ▽ : 水洗
乾燥
めっき ; 420~530 °C
冷却 (純水) ; 50 °C
▽ : 4 段水洗

3 結果および考察

3.1 無電解 NiP めっき皮膜と抗菌効果の関係

各種無電解 NiP めっきから得られた皮膜の膜厚および皮膜組成と抗菌性能判定結果を表4に示す。浴 pH5.0 および pH6.0 では、大腸菌、黄色ブドウ球菌および酵母で、膜厚に関係なく抗菌性なしの結果であった。浴 pH7.0 では、膜厚 0.1 μm では抗菌性なしであったが、膜厚 0.5 μm では大腸菌に対しての抗菌性なし、黄色ブドウ球菌および酵母への抗菌性ありであった。また、膜厚 3.0 μm 、10.0 μm では大腸菌、黄色ブドウ球菌および酵母の全てで抗菌性ありの結果を示した。浴 pH8.0 および pH9.0 では、膜厚 3.0 μm 、10.0 μm で大腸菌、黄色ブドウ球菌および酵母で抗菌性ありを確認した。pH10.0 調整浴は建浴中に水酸化物の生成を確認したため、検討を中止した。

以上の結果から、膜厚 3.0 μm 以上、且つ P 含有率は概ね 4 wt% 以下の低 P 皮膜で抗菌性が認められた。これは抗菌試験中に鉄さびの発生が無かったことから、NiP めっき皮膜が連続膜として抗菌性の無い鉄素材を完全に被覆し、更に低 P 皮膜であることから、電気伝導性の高い皮膜が抗菌性を示したと考えられる。

3.2 亜鉛めっき皮膜と抗菌効果の関係

亜鉛皮膜の抗菌性能判定結果を表5に示す。シアン化亜鉛めっき、ジンケート亜鉛めっきおよび塩化亜鉛めっき皮膜では、大腸菌、黄色ブドウ球菌および酵母で抗菌性ありの判定であった。また、熔融亜鉛めっきは、大腸菌のみ抗菌性を示した。さらに、亜鉛溶射は膜厚 50 μm および 100 μm で大腸菌、黄色ブドウ球菌

および酵母の全てで抗菌性ありの判定であった。

表4 各種無電解 NiP めっきから得られた皮膜の膜厚および皮膜組成と抗菌性能判定結果

○ : 抗菌性あり、× : 抗菌性なし

浴 pH	膜厚 (μm)	P (wt%)	Ni (wt%)	判定
5.0	3.0	9.77	90.23	×
6.0		8.10	91.90	×
7.0		3.88	96.12	○
8.0	0.1	3.65	96.35	×
	0.5	2.92	97.08	×
	3.0	3.25	96.75	○
	10.0	2.41	97.59	○
9.0	3.0	3.75	96.25	○

表5 亜鉛皮膜の抗菌性能判定結果

○ : 抗菌性あり、× : 抗菌性なし、— : 評価未実施

成膜法	抗菌性		
	大腸菌	黄色ブドウ球菌	酵母
シアン化亜鉛めっき	○	○	○
ジンケート亜鉛めっき	○	○	○
塩化亜鉛めっき	○	○	○
熔融亜鉛めっき	○	—	—
亜鉛溶射	○	○	○

4 結言

種々の無電解 NiP めっき皮膜および亜鉛めっき皮膜の抗菌性を評価した結果、前者は膜厚が 3.0 μm 以上、且つ P 含有率が概ね 4 wt% 以下の低 P タイプの皮膜で抗菌性のあることを確認した。また、後者は様々な成膜法を検討したが、ほぼ全ての皮膜に抗菌性のあることを確認した。したがって、食中毒、感染症やアレルギー等が引き金となり、年々高まる清潔志向により、上市されている多種多様な抗菌製品の開発手段の一つとして、抗菌性を有するめっき皮膜の用途は拡大すると考えられる。

参考文献

- 1) 関東学院大学 材料・表面工学研究所 ; めっき大全, p.355(2017)
- 2) 入浴施設におけるレジオネラ症集団発生事例 /<https://www.mhlw.go.jp/file/06Seisakujouhou-u-10900000-Kenkoukyoku/0000074563.pdf>
- 3) プレーティング研究会 ; めっき基礎のきそ, pp.118-121 (2014)

FLA を用いた各種樹脂フィルム上銅めっき皮膜の新アニーリング法

工学研究科物質生命科学専攻 崔 炳在
指導教授 盧 柱亨

1 緒言

IT 社会の目覚ましい発展に伴い、モバイルデバイスの高性能化と小型化の要求が高まっている。特にウェアラブルデバイスの需要が高まっており、その特徴から、フレキシブル材料に回路形成を行う研究が進んでいる。さらに、5G 時代の到来により、高速伝送や信号伝搬の低減が重要視されており、伝送損失の少ない低誘電材料上に低粗化で回路形成を行う必要がある。

しかし、低誘電材料の表面平滑性を維持したまま導電層を形成した場合、基板と金属間の密着性を得ることは難しい。一般的にめっきを施した後に、密着力向上や金属の結晶性改善のために高温でのアニーリングが行われるが、樹脂フィルムの中には耐熱性が低いものもあり、基板にこげや反りなどのダメージを与えてしまう恐れがある。したがって、従来の電気オープンなどによるアニーリングでは不具合を生じる恐れがある。加えて、従来のアニーリング法では1時間以上の長時間にわたる処理となる課題もある。

そこで、樹脂フィルムにはダメージを与えず、従来のアニール法より短時間で金属皮膜のみに熱を加えることができる FLA (Flash Lamp Annealing) に着目した。FLA は、0.2~1 ms の短時間に、200~1000 nm の連続波長の光を照射することで瞬間的に約 1000 °C の熱を与えるアニーリング方法である。本研究では、FLA を用いることで、低誘電材料上に無電解めっき法により高密着皮膜を形成した。

2 実験方法

試験基板には、LCP (kuraray Co. Ltd., CT-Q) および PEEK (KURABO Co. Ltd., EXPEEK) を使用した。本実験のめっき工程を表 1 に示す。FLA は無電解銅めっき後の熱処理に適用した。FLA には高電圧で一度のみ照射を行う Single-shot と比較的低電圧で連続的に照射を行う Multi-shot の 2 種類がある。しかし、Single-shot では基板にダメージを与えてしまうことが明らかとなったため、Multi-shot での処理とした。Multi-shot の条件は、0.2 m 秒のパルス幅で 200 秒間に 500 回連続発光するものとし、これを 1 set と定義した。

電気銅めっき後のアニーリングは通常熱処理である電気オープンを用いて処理を行った。また、樹脂フィルムとめっき皮膜間の密着強度は、引張試験機 (Strograph E2-L05, 東洋精機製作所製) で測定した。

表 1 めっき工程

UV 照射
▽
アルカリ処理 (NaOH); 65 °C, 3 min
▽
コンディショニング処理(CC231); 45 °C, 3 min
▽
触媒付与(PdCl ₂); 45 °C, 3 min
▽
触媒還元(NaH ₂ PO ₂ · H ₂ O); 45 °C, 2 min
▽
無電解 Cu めっき; 45 °C, 20 min
▽
FLA 処理
▽
電気 Cu めっき; 20 μm
▽
熱処理
▽
ピール試験

3 結果及び考察

3.1 FLA による LCP 基板へのアニーリング処理

3.1.1 FLA 条件の最適化

図 1 に、FLA および電気オープンでアニールした際の密着強度を示す。従来法である電気オープンを用いた際には 0.54 kN/m であった。一方、FLA でアニールした場合は、1 set では 0.30 kN/m であったが、発光回数を 2 set にした場合は 0.46 kN/m まで密着力が向上した。しかし、3 set へとさらに増やした場合、密着力の向上は確認されなかったため、処理時間短縮の観点から、LCP に対する FLA 処理の条件は 700 V、2 set が最適と判断した。処理時間を増やすことで、銅皮膜に与える熱エネルギー量の増加が、密着強度の上昇に寄与したと考えられる。

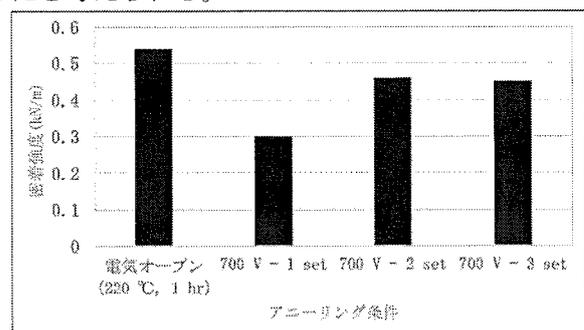


図 1 アニール条件と密着強度の関係

3.1.2 シード層の厚さの最適化

FLA は熱拡散の特性上、対象物の厚さの影響を大きく受ける。そこで、前述の FLA 条件に対して最適となるシード層の厚さを調査した。シード層の厚さはめっき時間で管理した。図 2 に、700 V, 2 set の FLA 処理した際のめっき時間と密着強度の関係を示す。めっき時間 10 min とした際に密着強度は 0.55 kN/m と最大を得た。本試験で使用した無電解めっきの析出速度は、0.80 $\mu\text{m}/\text{h}$ である。そのため、めっき膜厚約 0.15 μm の際に最も FLA の効果が大きくなることが明らかとなった。さらに、本条件で得た密着強度は、従来法である電気オープンで熱処理した際と同等の値である一方、FLA の所要時間は 30 min と従来法の半分の時間であり、大幅な処理時間の短縮が可能になることを確認した。

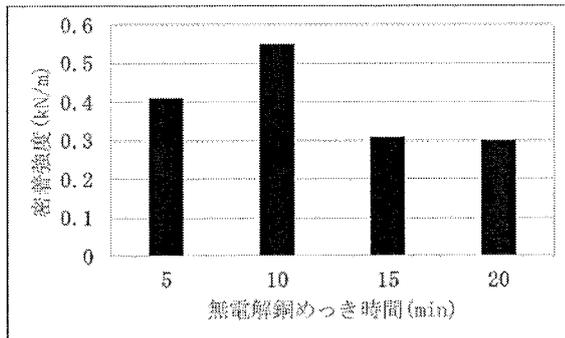


図 2 めっき時間による密着強度の変化

3.2 FLA による PEEK 基板へのアニーリング処理

3.2.1 FLA 条件の最適化

従来法である電気オープンでアニール処理した際には、210 $^{\circ}\text{C}$ では 0.23 kN/m と十分な密着強度を得ることが出来なかったが、240 $^{\circ}\text{C}$ で処理した場合には、0.43 kN/m まで向上することを確認した。しかし、図 3 に示すように、基板へのダメージが大きく、反りが発生することを確認した。

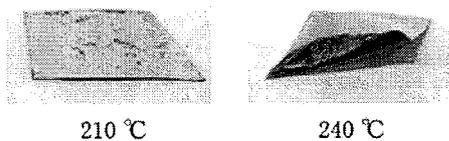


図 3 処理温度による外観への影響

一方、FLA を用いた際の密着強度を図 4 に示す。いずれの条件においても 1 set とした。1200 V 以上で処理した場合、基板へのダメージを抑えつつ、0.4 kN/m 以上の高密着が得られることを確認した。

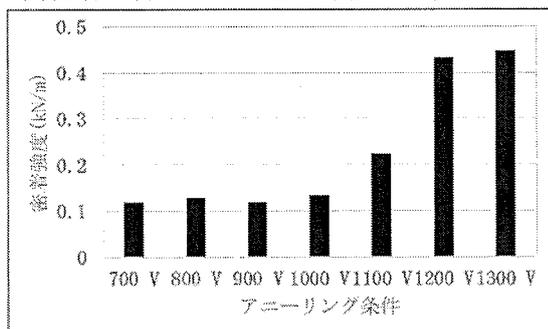


図 4 FLA 条件による密着強度の変化

3.2.2 裏面からの照射による影響

3.1.1 において PEEK に対しても FLA 処理を用いることで高密着皮膜が得られることが明らかとなった。しかし、高電圧での照射であったため、設備のランニングコストの観点から、より低電圧での処理が有利と考えられる。

そこで、樹脂側からの照射を検討した。本研究で用いた PEEK は透明であり、390 nm 以下の波長は樹脂に吸収される一方、390 nm 以上の波長は透過する。これを利用し、樹脂基板側から FLA 処理することで、基板とめっき界面に直接アニール効果を与えることが期待される。

図 5 に樹脂側から FLA 処理した際の密着強度を示す。低電圧での照射においても 0.3 kN/m 以上の密着が得られ、めっき面側からの照射に比べてアニール効果が高いことが明らかとなった。以上の結果から、光透過する基板であれば、界面に対して直接アニール効果を与えられることが示唆された。

一方で、1200, 1300 V の FLA 処理ではめっき面側から照射した場合と密着強度に大きな差が生じなかった。この原因は、樹脂側からの照射で界面に対する効率は上昇した一方で、PEEK が 390 nm 以下の波長を吸収するためその分のアニール効果が失われたことに起因すると考えられる。

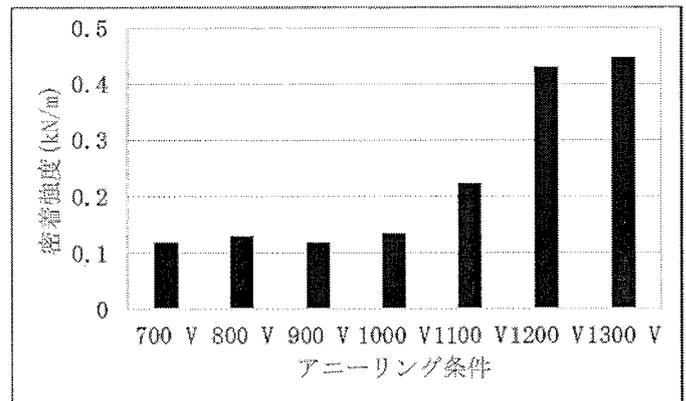


図 5 樹脂側からの FLA 処理と密着強度の関係

4 結言

従来の熱処理法の場合、耐熱性が低い樹脂フィルムへの適用には難点があったため、FLA による新しいアニーリング法の適用を検討した。FLA 法はフィルムにダメージを与えず、従来の熱処理である電気オープンとほぼ同等なレベルの密着強度が得られることを確認した。本研究を通して、比較的耐熱温度が低い樹脂フィルム基板材料への新しいアニーリング法として適用が期待される。

参考文献

- 1) 各ランプの基礎知識, 光技術情報誌「ライトエッジ」No.27, 2004
- 2) UV 照射による表面改質, 接着技術, 光技術情報誌「ライトエッジ」No.40, 2014

白色腐朽菌 *Hypsizygus marmoreus* による ゴム分解に関わる酵素群の探索

物質生命科学専攻 中島 太郎
指導教授 清水 由巳

1 緒言

多様なゴム製品に用いられているゴムは我々の生活にとってなくてはならないものである。2019 年において国内では 131.7 万トンのゴムが消費されており¹⁾、今後も世界的に消費量は維持され多量の廃ゴムが発生すると考えられる。こうした中で微生物を用いた廃ゴムの生分解が注目されている。ゴムを分解する微生物についてはいくつか報告があるが、廃棄物を効率的に分解・処理することが可能な微生物資源の入手、ゴム分解メカニズムの解明には至っていない。

本研究では難分解性物質リグニンを分解する白色腐朽菌の中からラテックス培地で良好な生育を示した *Hypsizygus marmoreus* に注目し、ゴム分解の際に発現している遺伝子群の解析、および分解産物の解析を行った。

2 実験方法

2.1 使用菌株と培養条件

野外から分離、あるいは購入した株から 21 株をゴム分解候補株として選出した。菌系成長の比較には、ラテックス培地と対照培地として YNB 培地を用い、25°C で 4 週間培養した。ゴム分解物の検出のための菌の培養は、YNB 培地に天然ゴムラテックスを重層した重層培地に植菌し、4 ヶ月間、25°C で培養した。トランスクリプトーム解析に用いる RNA 抽出、リグニン分解関連酵素の活性測定のための菌の培養には、ラテックス培地と対象培地として YNB 培地に 20 g/L のグルコースを加えたグルコース培地を用いて培養を行った。

2.2 分離菌株の種の簡易同定と系統解析

菌株の同定と系統解析にはリボソーム RNA をコードする遺伝子の ITS 領域の塩基配列を用いた。得られた塩基配列を用いて、National Center for Biotechnology Information の Blast 検索の結果から、種の簡易同定を行った。また、分離菌株と近縁な既知種の基準株の ITS 領域の塩基配列を用い、系統解析を行った。

2.3 TLC によるゴム分解産物の検出

菌を重層培地で培養後、ゴムラテックスを回収し凍結乾燥したものをゴム試料とした。このゴム試料をク

ロロホルムに溶解し TLC にスポットした。Brazz らの方法²⁾を参考に、ベンゼン：アセトン = 20:1 により 1 次展開後、クロロホルム：メタノール = 9:1 により 2 次展開を行い、ヨウ素により行った。

2.4 GPC 解析

ゴム試料を THF に溶解し GPC により菌未作用ゴムと菌作用後のゴムの分子量の測定を行った。

2.5 FT-IR 解析

ゴム試料の赤外吸収スペクトル (FT-IR) は、日本分光 (株) の FT/IR-615 を用い、KBr 法により測定した。

2.6 ¹H NMR 解析

核磁気共鳴スペクトル (NMR) は、Varian Technologies Japan Limited 製 MERCURY plus 400MHz を用い、溶媒として重クロロホルム (CDCl₃) 内部基準物質としてテトラメチルシラン (TMS) を添加し、25°C で測定した。

2.7 トランスクリプトーム解析

Tri-zol Reagent (Invitrogen) を用いて total RNA を抽出した。Total RNA は Recombinant DNase I (Takara) により DNA を分解後、RNA 試料として用いた。全 RNA シークエンス決定は、ユーロフィンジェノミクス株式会社に委託した。mRNA ライブラリーを用いたブラスト検索は、Institut Pasteur の The center of Bioinformatics Biostatistics and Integrative biology が提供する Blast アプリケーション blast+2.2.31 を用いて行った。リグニン分解関連酵素をコードする遺伝子の同定は、GenBank に登録されている既知種の Laccase (Lac), Heme peroxidase, Aryl-alcohol oxidase (AAO), Glyoxal oxidase (GLOX), Aryl-alcohol dehydrogenase (AAD), Quinone reductase (QR) のアミノ酸配列に対して相同検索を行うことにより同定した。

2.5 リグニン分解酵素活性測定

菌体を培養後、培地ごと菌体をくり抜き緩衝液に入れてホモジネートした。ホモジネートを遠心後、上清を回収し、粗酵素液として用いた。Périé の方法³⁾を参考に、各活性測定反応溶液と粗酵素液を混和し、Manganese peroxidase (MnP), Lignin peroxidase

(LiP), Lac それぞれの反応生成物を吸光度により測定した。酵素活性値は、吸光度の変化量が最大である時間の測定結果を粗酵素液のタンパク質濃度で割り、総タンパク質 1 mg あたり 1 分 あたりの吸光度変化量として求めた。

3 結果

3.1 ゴム分解候補株の選別

ゴム分解候補株 21 株について簡易同定したところ 8 株が子の菌植物病原菌, 13 株は担子菌門の菌株であると分かった。これらの株について YNB 培地, ラテックス培地で生育を比較し, 対照株である *C. aurantitogens* よりも生育の良かった菌株は, R7, R12, R13, R16, R18, R19, R20 の 7 株であった。これら 7 株と近縁菌の ITS 領域を用いて系統解析を行ったところ, すべての菌株が白色腐朽菌であるか, 白色腐朽菌と近縁であることが判明した。

3.2 菌作用未作用のゴム試料の構造変化

ラテックス培地培養で生育の良好であった R7: *H. marmoreus*, R20: *Phanerochaete* sp. を用いてゴム分解産物の検出を行った。菌未作用, 菌作用後のゴムラテックス膜を用いて TLC により分解産物の検出を行ったところ, 菌未作用時には見られない位置のスポットを確認した。また, *H. marmoreus* を用いて菌未作用, 菌作用後のゴム試料の分子量比較を行ったところ, 重量平均分子量が 2/5 量に減少, 多分散度が 2.7 倍に増加し, ゴムラテックスの分解を確認した。菌作用後のゴム試料を FT-IR により構造解析を行ったところ, ゴムラテックスの主成分である *cis*-1,4-ポリイソプレンの C=C 結合の相対的減少, OH 基の出現を確認した。NMR でも OH 基を示すピークが確認された。

3.3 *H. marmoreus* におけるラテックス培地培養中に発現する遺伝子群の解析

ゴムラテックスが *H. marmoreus* により分解されていることが確認できたため, *H. marmoreus* のラテックス培地培養中に発現する遺伝子群の解析を行った。グルコース培地培養に対するラテックス培地での発現量の比が大きかった遺伝子, ラテックス培地培養でのみ発現を示した遺伝子の同定を行ったが, 多くの遺伝子が機能未知であった。また, *H. marmoreus* はゴムラテックスを炭素源として代謝していると考え, Carbohydrate metabolism にマッピングされた遺伝子群に注目したところ, ラテックス培地培養時にはアルコール代謝に関わる遺伝子の発現量が高くなることが判明した。さらに, *H. marmoreus* はゴムラテックスをリグニン分解関連酵素により分解すると予想し, リグニン分解酵素をコードする遺伝子群の発現量を解析した。その結果, 一部のリグニン分解酵素の遺伝子がラテックス培地培養で特に高い発現量を示すことが判明した。

3.5 ラテックス培地培養でのリグニン分解酵素活性

グルコース培地培養とラテックス培地培養のリグニン分解酵素の活性を比較したところ, グルコース培地培養と比較しラテックス培地培養では, MnP 活性で 1.8 倍, LiP 活性で 2.6 倍, Lac 活性で 2.5 倍高い活性を示した。

4 結言

ラテックス培地培養で良好な生育を示した *H. marmoreus* について, ラテックス培地培養時に発現する遺伝子群の同定を行ったところ, 機能未知の遺伝子の大幅な発現量の増加を確認した。また, リグニン分解関連酵素の一部の遺伝子発現量が増加し, さらにリグニン分解関連酵素である Lac, Heme peroxidase の酵素活性の上昇を確認した。このことから, *H. marmoreus* によるゴムラテックス分解にはリグニン分解酵素が関与することを示唆しているとともに, ゴム分解に関わる新たな酵素の存在が期待される。また, ラテックス培地培養時にアルコール代謝に関わる遺伝子の発現量が増加した。さらに菌作用後のゴム試料では *cis*-1,4-ポリイソプレンの C=C 結合が減少, 末端に OH 基が出現したことが示された。これらのことを図 1 にまとめた。ゴムラテックスは, リグニン分解関連酵素の一部と新たなゴム分解酵素の働きにより分解されアルコール類になる。その後, 菌体内に取り込まれて炭素源として代謝されると考えられる。

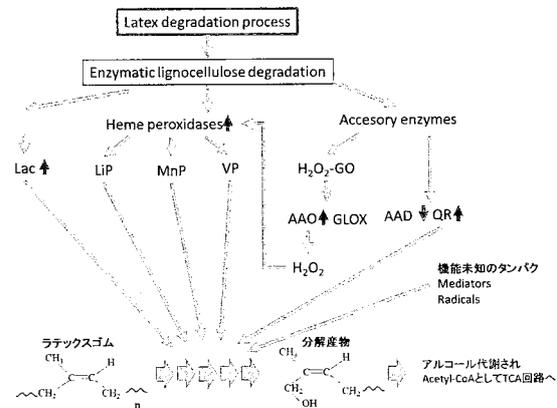


図1 *H. marmoreus* によるゴムラテックス分解予想

参考文献

- 1) 経済産業省大臣官房調査統計グループ: 平成 30 年-2018-経済産業省生産動態統計年報 紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計編 (2018), pp. 115.
- 2) Braaz R, Armbruster W, Jendrossek D: *Appl Environ Microbiol*, 71-5(2005), pp. 2473-2478.
- 3) Périé FH, Gold MH: *Appl Environ Microbiol.*, 57-8 (1991), pp. 2240-2245.
- 4) Sato S, Honda Y, Kuwahara M, Kishimoto H, Yagi N, Muraoka K, Watanabe T: *Biomacromolecules.*, 5-2(2004), pp. 511-515.

残光蛍光体および色素複合残光蛍光体の作製とその発光特性

物質生命科学専攻 半田 隼大
指導教授 松井 和則

1. はじめに

蛍光体は紫外線などの外部からのエネルギーを吸収して発光するが、励起源を遮断すると発光しなくなる。それに対し、長残光蛍光体は励起源遮断後も長時間発光し続ける。その特性を利用して時計の指針盤や避難誘導などに使用されている。

近年、長残光蛍光体と有機蛍光色素を組み合わせた新規蛍光体に関心を集めている¹⁻²⁾。残光蛍光体の残光を吸収して色素分子が発光することで、多様な色の長残光蛍光体の作製が期待できる。本概要では、修士論文で研究したローダミン 6G, 9,10-(ビスフェニルエチニル)アントラセン, フルオレセインなどの長残光蛍光体・色素複合体のうち、フルオレセインの長残光蛍光体について報告する。

2. フルオレセインをドーブしたゾル-ゲルシリカ $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$ 残光蛍光体の複合体の作製

2.1 緒言

$\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$ 蛍光体 (SMSE) は 460 nm 付近に蛍光ピークを有し³⁾、青色発光を示す。Dy³⁺などの共賦活剤をドーブすることによって残光を示す。

フルオレセイン (FL) は 400 nm から 500 nm の広い吸収帯を持ち⁴⁾、黄緑色の発光を示す。

SMSE の蛍光ピークが FL の吸収領域と重なっていることから、SMSE の残光を励起光として FL の発光が期待できる。

本研究では、SMSE の残光を励起光として、FL を発光させる長残光蛍光体の作製を試みた。

2.2 実験方法

SMSE の作製には固相反応法を用いた。化学量論比 $\text{Sr}_{1.968}\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}_{0.01},\text{Dy}_{0.02},\text{Nd}_{0.002}$ になるように SrCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, SiO_2 , Eu_2O_3 , Dy_2O_3 , Nd_2O_3 を遊星型ボールミル P-7 (Fritsch) で混合した。得られた粉末を H_2/N_2 (3/97%) の混合気体を流した還元雰囲気下で 1200 °C で 3 時間焼成して SMSE 蛍光体を作製した。

ゾル-ゲル法を用いて FL をドーブしたゾル-ゲルシリカ (FL ゲル) を作製した。10 mM の FL 水溶液、オルトケイ酸テトラメチル、メタノールをそれぞれ 1 mL, N,N-ジメチルホルムアミド 0.5 ml をポリプロピレン製の容器に入れ、25 °C で 30 分間攪拌してゾル溶液を得た。ゾル溶液を 40 °C で 3 日間静置して FL ゲルを得た。

作製した SMSE 蛍光体と FL ゲルをメノウ乳鉢中で 1:1~1:5 の質量比で混合して、複合体 (FL/SMSE) を

作製した。

試料の蛍光スペクトル、励起スペクトル、残光スペクトル、残光励起スペクトルおよび残光強度減衰の測定には、蛍光分光光度計 FP-8500 (JASCO) で測定した。残光スペクトルおよび残光励起スペクトルは、燐光測定モードを用いて、励起光遮断後 119 ms 後の残光成分を積算して求めた。

2.3 結果および考察

図 1 に SMSE の蛍光および蛍光励起スペクトルを示す。蛍光スペクトルは 467 nm に Eu^{2+} の $4f^65d^1 \rightarrow 4f^7$ 遷移に帰属するピークを示し、その蛍光ピークでモニターした蛍光励起スペクトルは、260 nm および 360 nm 付近に Eu^{2+} の $4f^7 \rightarrow 4f^65d^1$ 遷移に帰属するピークを示した。

図 2 に FL ゲルの蛍光・蛍光励起スペクトルを示す。FL ゲルの蛍光スペクトル (a) は 530 nm 付近にピーク

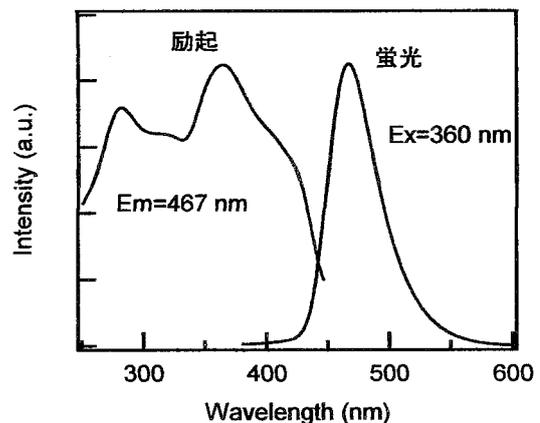


図 1 SMSE の蛍光および蛍光励起スペクトル

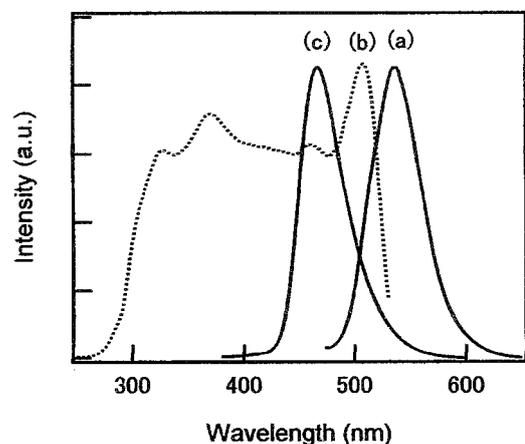


図 2 FL ゲルの蛍光および蛍光励起スペクトル：
(a) FL 蛍光, (b) FL 励起, (c) SMSE 蛍光。

クを示した. FLゲルの励起スペクトル (b) は 300 nm から 500 nm にブロードなピークを示した. SMSE (c) の発光が FLゲルの励起スペクトルに重なっていることから, SMSE の発光を励起光として FL を発光させることが可能である.

図 3 に複合体の残光スペクトルを示す. 460 nm および 530 nm 付近にピークを示した. これらのピークはそれぞれ SMSE の残光および FL の発光に対応している. 残光特性を有する SMSE のピークが観測されるのは当然であるが, 励起光遮断後 119 ms 後の残光成分を測定する本装置では, 蛍光寿命が 4 ns 以下の FL の発光を観測はできない. FL の残光が観測されたのは, SMSE との複合体のためと考えられる.

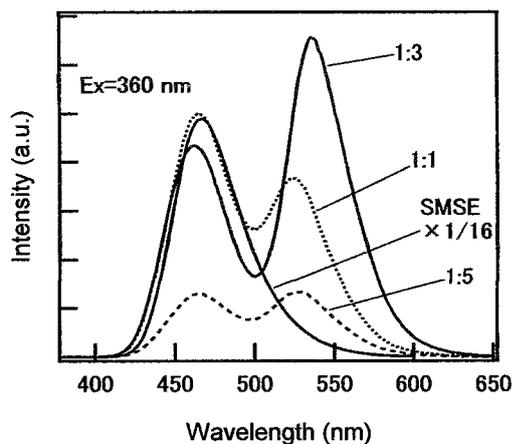


図 3 複合体の残光スペクトル

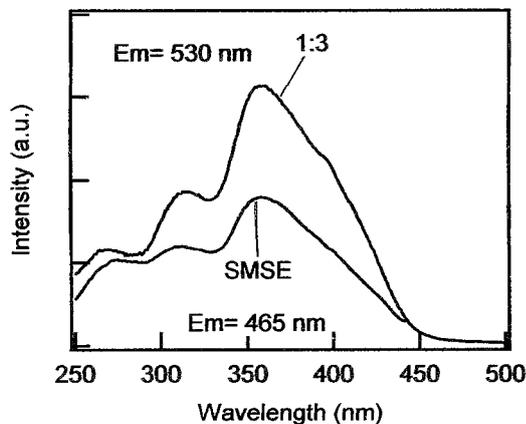


図 4 SMSE および複合体の残光励起スペクトル

図 4 に複合体の残光励起スペクトルを示す. SMSE に由来する残光 465 nm の残光励起スペクトルは, 450 nm 辺りから立ち上がり 360 nm にピークを示した. このスペクトルは, SMS の蛍光励起スペクトルと一致しており, SMSE の蛍光および残光の励起過程は同一であることがわかる. FL に由来する残光 530 nm の残光励起スペクトルは, FL の蛍光励起スペクトルとは異なり, SMSE の残光励起スペクトルと類似している. これは複合体における FL の残光の励起過程が SMSE の励起過程と同一であることを意味している. したがって複合体に分散した FL は SMSE から放出される残光を吸収して, 発光していると考えられる.

図 5 に残光強度の減衰曲線を示す. SMSE (a) と複合体 (b) の減衰曲線を比較すると, 両者の残光強度の減衰曲線は類似している. (b) の強度を 20 倍した曲線 (c) と SMSE (a) は, ほぼ同一の曲線となった. SMSE の残光寿命と FL の残光寿命が同じであることから, SMSE の残光を吸収して FL は残光を発していることを明確に示している.

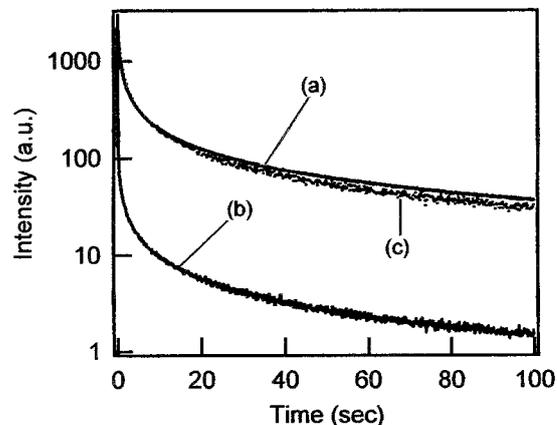


図 5 複合体の減衰曲線 : (a) SMSE, (b) 複合体, (c) 20× (b).

以上のことから, SMSE から FL へエネルギー移動が起きていると結論できる.

2.4 結言

$\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$ 残光蛍光体とフルオレセインをドーブしたゾル-ゲルシリカを混合し, 複合体を作製することによって, SMSE の残光を励起光としてフルオレセインを発光させる残光蛍光体を見出した.

3. おわりに

有機蛍光色素と長残光蛍光体を適切に選択し, 複合体の方法や条件を最適化することで, 新規の波長変換長残光蛍光体を作製できることを明らかにした. さらに新たな光機能性材料の展開の可能性が期待できる.

参考文献

- 1) S. Das, J. Manam, and S. K. Sharma, *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, 5, R98 (2016)
- 2) S. Das, J. Manam, and S. K. Sharma, *New J. Chem.*, 41, 5934 (2017)
- 3) Z. Yanan, G. Mingqiao and C. Zhi, *J. Rare Earths*, 31, 1043 (2013)
- 4) B. Valuer, M. N. Berberan-Santos: *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*, 2nd ed., WILEY-VCH Verlag GmbH; 419 (2012)

植物由来原料のヒマシ油を用いた 新規エラストマー材料の合成およびその性質

物質生命科学専攻 松野 皓斗
指導教授 香西 博明

1. 緒言

広い分野で利用されている石油を原料とした合成高分子材料だが、石油の枯渇や自然環境中で分解されないなどといった課題を抱えている¹⁾。そのため、石油に代わる植物由来原料の利用や、生分解性高分子材料などの研究が盛んに行われている²⁾。しかし、これらは耐久性や耐熱性で劣るとされており、機能性の改善が必要である。そこで、植物由来原料であるヒマシ油(CO)に着目し、機能性の向上を目指して新規なエラストマーを合成した。

2. 植物由来原料ヒマシ油をベースとしたウレタンアクリレートと天然ゴムの架橋反応

2.1 緒言

第2章ではヒマシ油に光重合性を有するアクリロイル基を導入したイソシアネートを反応させ、天然ゴム(NR)と架橋したフィルムを合成した。

2.2 実験方法

2.2.1 CO-AOIの合成

CO 0.50g (0.5mmol), AOI 0.21g (1.5mmol)を溶媒に溶かし、触媒を加え室温で24時間かくはんした。

2.2.2 硬化フィルム(CO-AOI+NR)の合成

CO-AOI 0.71g と天然ゴム(NR) 0.71g を混合し、光重合開始剤を加え溶媒に溶解させた。その後、溶媒キャスト法にてフィルム状に成型した。

2.2.3 硬化フィルムの酵素分解

硬化フィルムは1cm四方に切り取り、網目約1×1mmのポリエチレンシートメッシュに封入し、リン酸緩衝液(KH₂PO₄/Na₂HPO₄) 30mL中に12時間浸漬してなじませた後、リパーゼ1gを加え、最適条件(37°C, pH.8.2)で14日間分解を行った。分解後のフィルムは純水で十分に洗浄し、減圧乾燥後回収した。

2.3 結果及び考察

CO-AOIは無色透明の粘性のある液体として得られ、¹H NMR スペクトルによって帰属した(Figure 1)。

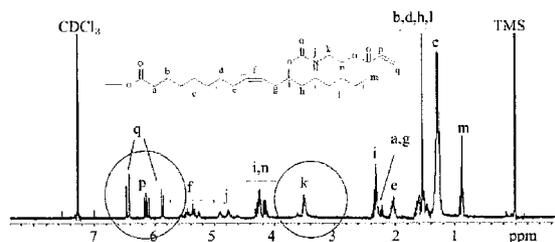


Figure 1. ¹H NMR spectrum of CO-AOI in CDCl₃.

得られた硬化フィルムは淡黄色半透明であり、収率は80%であった。硬化フィルムのヤング率(E)、破断点-応力(T_B)、破断点-ひずみ(E_B)の値は、それぞれ $E = 0.22\text{MPa}$, $T_B = 0.8\text{MPa}$, $E_B = 213.0\%$ であった。また、リパーゼによる酵素分解の結果0.04%の重量減少を確認した。フィルム表面は分解前に比べ膨潤の影響によりクラックが生じていたが、リパーゼによる分解の形跡は確認できなかった。

3. 植物由来原料ヒマシ油と水酸基末端ポリブタジエンとの光架橋反応

3.1 緒言

第3章ではヒマシ油および水酸基末端液状ポリブタジエン(Poly bd)に着目し、新規エラストマーを合成した。

3.2 実験方法

3.2.1 CO-AOIの合成 (2.2.1 参照)

3.2.2 アクリロイル基末端液状ポリブタジエン (HTPB-AOI)の合成

NCO/OH 当量比 1:1 で Poly bd 1.18g (0.39mmol), AOI 0.05g(0.38mmol)を加え、触媒存在下24時間かくはんした。反応終了後溶媒を除去し回収した。

3.2.3 硬化フィルムの合成

HTPB-AOI 1.07g と CO-AOI 0.14g を溶媒に溶かし、光重合開始剤を添加後、溶媒キャスト法によってフィルム状に成型した。

3.2.4 硬化フィルム酵素分解 (2.2.3 参照)

3.3 結果及び考察

硬化フィルムは無色透明で得られ、収率は78%であった。硬化フィルムの応力ひずみ ($S-S$) 曲線から、最大点-応力 (T_B) 0.20MPa, 最大点-ひずみ (E_B) 12.08%, ヤング率 (E) 2.00 MPaであった。CO-AOI と HTPB-AOI を架橋したことにより、強靱性の向上が確認できた。また、酵素分解の結果最大10.0%の重量減少を確認した。さらに、分解後のフィルム表面にはポイドを確認でき、フィルム表面から分解していることが考えられる(Figure 2)。

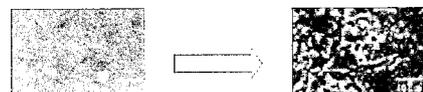


Figure 2. SEM photograph of cured film.

4. 植物由来原料ヒマシ油と L-Lactide をベースとしたウレタンアクリレートとジエン系ゴムとの架橋反応

4.1 緒言

第4章ではヒマシ油を開始剤とした分鎖ポリ乳酸の合成に着目した。これに光重合性を有するイソシアネートを反応させ、各種ジエン系ゴムと光架橋させることで新規なエラストマー材料を合成した。

4.2 実験操作

4.2.1 COLA の合成

CO 1.0g (1.0mmol)と L-Lactide 0.71g (5mmol)を仕込み、触媒を加え 140°Cで5時間かくはんした。

4.2.2 COLA-AI の合成

溶媒に COLA 1.7g(1.0mmol), AOI 0.42g (3.0mmol)を溶かし、触媒存在下室温24時間反応させた。

4.2.3 硬化フィルムの合成

一例としてポリブタジエン(PB)を用いたフィルムの合成方法を示す。COLA-AOIに溶媒に溶かしたPB 0.71gと光重合開始剤を加え、溶媒キャスト法によってフィルム状に成形した。その後、UV照射 ($\lambda=345\sim 385\text{ nm}$)を30分間行った。

4.2.4 硬化フィルムの酵素分解 (2.2.3 参照)

4.3 結果及び考察

COLA-AOIは白色の粘性体として得られ、収率は90%であった。次に、得られた硬化フィルムはいずれも半透なフィルムとして得られた。また、合成した各硬化フィルムは種々の溶媒に不溶であったため、各硬化フィルムは架橋構造を有していると考えられる。次に各硬化フィルムの応力-ひずみ(*S-S*)曲線をFigure 3に示す。ヤング率(*E*)、破断点-応力(T_B)、破断点-ひずみ(E_B)の値は、これらの値はCOにL-Lactideを導入せずに調整した硬化フィルムと比較すると強靭性を増したが、伸縮性が低下することがわかった。最後に各硬化フィルムをリパーゼによる酵素分解を行った結果、最大10.5%の重量減少を確認した。さらに、分解後の各硬化フィルムはそれぞれボイドを確認でき、リパーゼによる分解はフィルム表面から作用していることが考えられる。

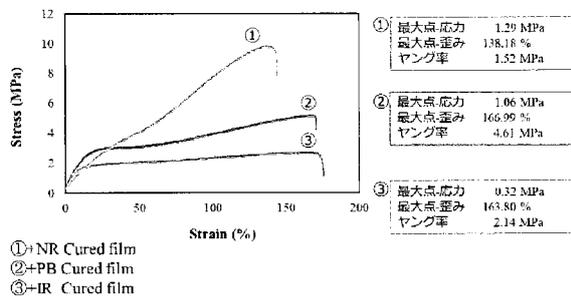


Figure 3. Stress-strain curve of cured films.

5. ヒマシ油変性ポリオールと L-Lactide をベースとしたウレタンアクリレートとポリブタジエンゴムとの架橋反応

5.1 緒言

第5章ではヒマシ油変性ポリオール(CODP)を開始剤とした分岐ポリ乳酸に着目した、これに光重合性を有するイソシアネートを反応させた新規エラストマーを合成した。

5.2 実験方法

5.2.1 CODPLA の合成

CODP 1.0g (1.5mmol)と L-Lactide 1.4g (10mmol)を仕込み触媒存在下 140°Cで5時間かくはんした。

5.2.2 CODPLA-AOI の合成

溶媒に CODPLA 2.34g(1.5mmol)と AOI 0.42g (3.0mmol)を溶解させ、触媒存在下室温で24時間反応させた。

5.2.3 硬化フィルムの合成

CODPLA-AOIに溶媒とPB0.71gを加え、光重合開始剤の存在下かくはんした。溶解後溶媒キャスト法によってフィルム状に成型した。その後、UV照射 ($\lambda=345\sim 385\text{ nm}$)を30分間行った。

5.2.4 硬化フィルムの酵素分解 (2.2.3 参照)

5.3 結果及び考察

得られた硬化フィルムは白色半透明で得られ、収率91%であった。また、力学的性質として応力-ひずみ(*S-S*)曲線から最大点-応力(T_B)0.16MPa、最大点-ひずみ(E_B)23.059%、ヤング率(*E*)1.00MPaであった。また、20%熱重量損失開始温度(T_d)は245°Cであった(Figure 4)。次に、リパーゼによる酵素分解の結果、最大10.0%の重量減少を確認した。さらに、硬化フィルムは分解後フィルム表面にボイドを確認でき、リパーゼによる分解はフィルム表面から作用していることが考えられる。

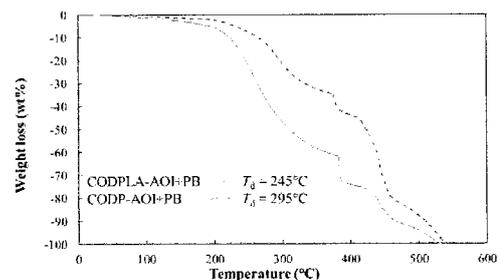


Figure 4. TGA curves of cured films at a heating rate 10°C/min in air.

6. 総括

本研究で合成したエラストマーは生分解性に加え強靭性の向上が確認でき、生分解性高分子材料の新規な用途への利用が期待される。本研究が循環型社会の構築において価値のあるものになることを期待する。

文献

- 1) 中條善樹, "高分子化学I合成", 丸善, (1996).
- 2) 高田秀重, 廃棄物資源循環学会誌, **29**(4), 261-269(2018).

SrAl₂O₄ および Sr₂MgSi₂O₇ 長残光蛍光体の残光特性

物質生命科学専攻 村山 優奈
指導教授 松井 和則

1. はじめに

長残光蛍光体は、紫外線や放射線によって励起されたエネルギーを蓄え、励起源を遮断した後そのエネルギーを光として徐々に放出し、長時間発光する。災害時の避難誘導標識、時計の文字盤、アクセサリなど幅広く利用されている物質である。

緑黄色発光を示す代表的なアルミン酸ストロンチウム系においては、賦活剤として Eu³⁺、共賦活剤として Dy³⁺ を母結晶にドーブし、還元雰囲気中で焼成することで Eu²⁺ を発光中心とする長残光蛍光体が作製されている。低温測定を行うと青色発光を示す、Eu²⁺ の濃度を変化させることによって青色発光を示すなどの報告もある^{1),2)}。これらは、Sr サイトが2つ存在することを示しているが、その残光機構は未だ不明な点が残されている。本論文では、アルミン酸ストロンチウム系およびアルカリ土類ケイ酸塩系の蛍光体を焼成条件や組成を変化させて残光寿命の改善とその残光機構解明に関する研究をまとめた。

予稿集ではアルミン酸ストロンチウムについて報告する。

2. SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ 長残光蛍光体の焼成条件の検討

2.1 緒言

SrAl₂O₄:Eu²⁺ の蛍光体において、大気雰囲気中で焼成すると Eu³⁺ の発光の他に青色と緑色の蛍光および残光が観測され、Eu³⁺ が Eu²⁺ へ還元されることを報告している。本章では、さらに大気雰囲気中と還元雰囲気中の焼成条件が、蛍光特性、残光特性に与える影響を調べた。

2.2 実験方法

母結晶材料として SrCO₃, Al(OH)₃, 賦活剤として Eu₂O₃, 共賦活剤として Dy₂O₃ を Sr_{0.98}Al₂O₄:Eu_{0.01}, Dy_{0.01} に秤量し原料粉末を作製した。原料粉末の混合には遊星型ボールミル (Fritsch P-7) を用いた。

通常は、混合した粉末を N₂-H₂ (3%) 1450°C で還元焼成した。さらに焼成雰囲気を、1450°C で N₂-H₂ (3%) 還元焼成を3時間おこなったプロセス1と大気焼成2時間おこなったのち連続して還元焼成1時間のプロセス2の2条件で比較した。焼成後、500°C まで徐冷後に取り出した。

蛍光および励起スペクトル、残光および残光励起スペクトル、残光寿命は蛍光分光光度計 FP-8500 (日本

分光) で測定した。X線回折 (XRD) 測定には、X線回折装置 RINT2200 (理学) を用いた。

2.3 結果および考察

図1に還元雰囲気下で作製したプロセス1の試料(a)と大気雰囲気下で焼成した後に還元雰囲気下で焼成したプロセス2の試料(b)のXRDパターンを示す。いずれの蛍光体もPDF(Powder Diffraction File)#01-076-7489のパターンをと一致しており、モノクリニック型のSrAl₂O₄結晶の生成が確認できた。(-211)面、(220)面、(211)面のピークの半値幅から結晶子サイズの平均値を計算すると、(a)はd=31.7 nm、(b)はd=35.6 nmとなった。このことから、プロセス2の方は結晶子サイズが大きく、粒子内の多結晶がより単結晶化していると推察される。

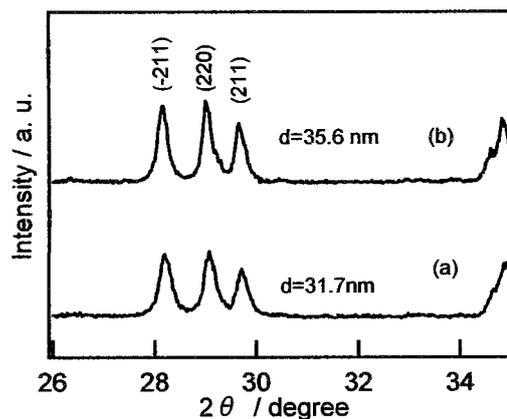


図1 還元雰囲気下で作製したプロセス1の試料(a)と大気雰囲気下で焼成した後に還元雰囲気下で焼成したプロセス2の試料(b)のXRDパターン

(a)と(b)蛍光体はいずれも518 nm付近にEu²⁺の4f⁶5d → 4f⁷遷移に由来するピークを有する蛍光および残光を示した。励起・残光励起スペクトルはすべて同様な形状をしており、発光・残光過程に違いが生じないことが分かった。

図2に作製した蛍光体の残光寿命を示す。プロセス2で作製した試料の方がプロセス1で作製した試料に比べて、初期強度および100秒後の残光強度はおよそ3倍向上した。一方、減衰の傾きは同じであった。このことから、焼成条件の違いによって新たな種類のトラップは生成されておらず、トラップ密度が大きくなっていると推察される。

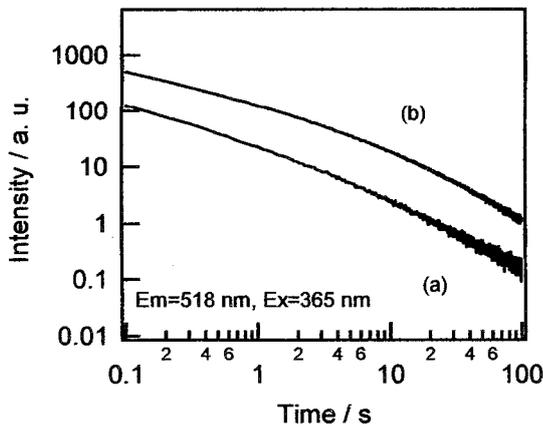


図2 還元雰囲気下で作製したプロセス1の試料(a)と大気雰囲気下で焼成した後に還元雰囲気下で焼成したプロセス2の試料(b)の残光寿命

2.3 結言

大気雰囲気下で焼成した後に還元雰囲気下で焼成した蛍光体は、結晶子のサイズが大きくなり結晶性が高まる。また残光に有効なトラップの密度が高くなることがわかった。これらによって残光特性が向上することが示唆された。

3. Sr空孔がSrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺長残光蛍光体を与える効果

3.1 緒言

SrAl₂O₄:Eu²⁺の蛍光体において、大気雰囲気中でSrの仕込み量を化学量論比から減らし作製するとSr空孔が生じ、Sr空孔がその還元反応に寄与していることを報告している。さらにSrの化学量論比がある程度小さいほど緑色の発光は強くなり、残光も長くなることが分かっている。本章では、(2.3)の結果で良好であった、大気雰囲気下で焼成した後に還元雰囲気下で焼成するプロセスでSrの仕込み量を化学量論比から減らし蛍光体を作製してSr空孔が、蛍光特性、残光特性に与える影響を調べた。

3.2 実験方法

母結晶材料としてSrCO₃, Al(OH)₃, 賦活剤としてEu₂O₃, 共賦活剤としてDy₂O₃をSr_xAl₂O₄:Eu_{0.01}, Dy_{0.01}(x=1.04-0.49)に秤量し原料粉末を作製した。原料粉末の混合には遊星型ボールミル(Fritsch P-7)を用いた。

混合した粉末を大気雰囲気中で2時間焼成おこなったのち連続して1時間N₂-H₂(3%)還元雰囲気中で、1450°Cで焼成した。焼成後、500°Cまで徐冷した後に、還元雰囲気中から取り出し、室温まで下げた。

蛍光および励起スペクトル、残光および残光励起スペクトル、残光寿命は蛍光分光光度計FP-8500(日本分光)で測定した。X線回析(XRD)測定には、X線回折装置RINT2200(理学)を用いた。

2.3 結果および考察

作製した蛍光体のXRDパターンはいずれも、モノクリニック型のSrAl₂O₄結晶相が主たる成分であることを確認した。しかし、x=0.84よりSrが少ない試料は、SrAl₁₂O₁₉相もわずかに現れた。また、蛍光体はいずれも518 nm付近にEu²⁺の4f⁶5d→4f⁷遷移に由来するピークを有する蛍光および残光を示しx=0.74でそれらの強度が最大値を示した。図3に残光励起スペクトルを示す。255 nm, 321 nm, 367 nm, 425 nm付近にピークが現れた。Sr量が少なくなるにつれて255 nm, 425 nmピークの成長が顕著になった。

Uedaら³⁾によると400 nmの励起波長は、強い結晶場サイト(Srサイト2)の電子を伝導帯に励起する最低エネルギーに対応する。したがって、残光励起スペクトルの400~450 nm領域の強度の増加は、Sr欠陥により電子が熱イオン化される、あるいは量子トンネル効果が起きるなどの過程に有効なトラップの生成が起きているものと考えられる³⁾。

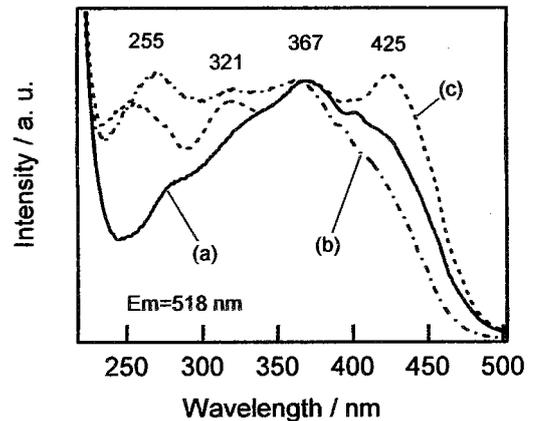


図3 さまざまな化学量論比で作製したSr_xAl₂O₄:Eu_{0.01}, Dy_{0.01}試料の残光励起スペクトル:(a) x=1.04, (b) x=0.98, (c) x=0.74

3.4 結言

Sr空孔が生成すると残光特性が向上した。これはSr空孔によって、残光に有効なトラップが生成したためと推察される。

参考文献

- 1) J. Botterman, J. J. Joos, and P. F. Smet: *Phys. Rev. B* **90**, 8, pp. 085147 (2014).
- 2) J. Bierwagen, S. Yoon, N. Gartmann, B. Walfort, and H. Hagemann: *Opt. Mater. Express* **6**, 3, pp. 793–803 (2016).
- 3) J.Ueda et al, *Phys Status Solidi C* **9**, pp. 2322-25 (2012).

微細藻類 *Chlorococcum littorale* 培養系による 油分生産と回収

物質生命科学専攻 柳山 海理
指導教授 川原 一芳

1 緒言

地球温暖化防止対策として、再生可能エネルギーであるバイオマス燃料が注目されている。しかし、バイオマス燃料の原料として利用される植物を栽培するためには、広大な農地と長い時間を要する。一方、微細藻類は小さな培養容器で培養が可能であり、高い増殖速度を得ることができる。このことから、微細藻類は栽培植物に代わるバイオマス燃料の原料として期待されている。

微細藻類の培養のためには、炭素源である CO_2 が必要である。その供給の点から、広く用いられている液体培養系より、気相と藻体が接している表面培養系の方が藻体増殖を促すことができる可能性がある。

また、バイオマス燃料の生産面からも、藻類由来の油分を回収するためには、表面培養系は液体培養系よりも高い効率を期待できる。油分を藻体から抽出する前段階として懸濁液からの藻体の回収操作を省略することができ、さらに藻体からの油分の分泌がある場合には、分泌物の直接回収が期待される。

そこで本研究では、微細藻類の表面培養系の様々な培養条件とその収率について検討した。

2 実験方法

2.1 培養条件

藻体には *Chlorococcum littorale* NBRC 102761 を用いた。ダイゴ人工海水 SP(和光製薬)36 g/L およびダイゴ IMK 培地 SP(和光製薬) 0.252 g/L をイオン交換水に溶解して培地に用いた。

フラスコ培養(保存培養および対照培養)では、20 mL 培地中に藻体を懸濁し、室温(約 25~30°C)中で 16 h 明/8 h 暗の照明(約 6,000 lux)条件で静置培養を行った。

表面培養にはポリカーボネート製の角型培養容器(プラントボックス)を用い、Fig.1 に示した装置にて容器容積 100 mL の条件にて培養を行った。培地をチューブポンプにて循環させ、藻体を接種した基材に滴下した。

2.2 油分吸着操作

吸着剤として、疎水性シリカゲル(FUJI SILYSIA CHEMICAL LTD. CARIACT Q-6)および合成吸着剤アンバーライト XAD(オルガノ XAD-4)を使用した。また、表面培養基材である親水性メンブレンフィルタ

ー、疎水性メンブレンフィルター、ろ紙、ナイロンメッシュも同様に油分吸着評価を行った。

三角フラスコに 40 mL の藻体懸濁液と吸着剤を入れ、冷蔵庫(約 4°C)にて 1 日静置を行った後、油分濃度測定試薬セット(共立理科学研究所)を用いて油分濃度の測定を行った。

2.3 分析条件

培養終了後、藻体が付着した培養基材を人工海水 100 mL に浸漬し、藻体を洗い出した。洗い液および装置下部の培地における藻体濁度は、 $\lambda=750 \text{ nm}$ にて評価を行った。また、吸引ろ過により藻体を回収し、新鮮重量を秤量した。

基材の洗い液および装置内培地中の油分濃度は油分濃度測定試薬セット(共立理科学研究所)を用いて、ポリニップム抽出物質測定法により評価を行った。藻体の残留した培養基材においては、メタノールに浸漬し、抽出されたクロロフィルの吸光度($\lambda=664 \text{ nm}$)を測定した。また、脂肪酸分析については、メチルエステル化の後にガスクロマトグラフィー質量分析法(GC-MS)により行った。

3 結果および考察

3.1 表面培養による漏出油分濃度

藻体を保持する基材として、コットン(脱脂綿)、ガーゼ 6 枚、ナイロンメッシュ 2 枚、ろ紙を用いた。コットンおよびガーゼ 6 枚は構造支持のため、ナイロンメッシュ上に設置した。対照として液体静置培養を行い比較した。14 日間の培養後、基材表面および培地中の藻体濁度および漏出油分濃度を測定し、Fig.2 に示した。

藻体濁度の値が、表面培養系であるコットン、ガーゼ、ナイロンメッシュ、ろ紙では対照よりも高い値を示し

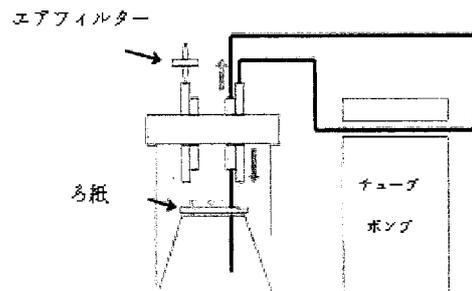


Fig.1 滴下型表面培養装置

ていることから、増殖が促進されたと考えられた。

漏出油分濃度についても藻体濁度と同様に表面培養系の方が対照よりも高い油分濃度が得られた。この結果から、藻体の増殖が促進されたことにより、得られる漏出油分も増加したと考えられた。

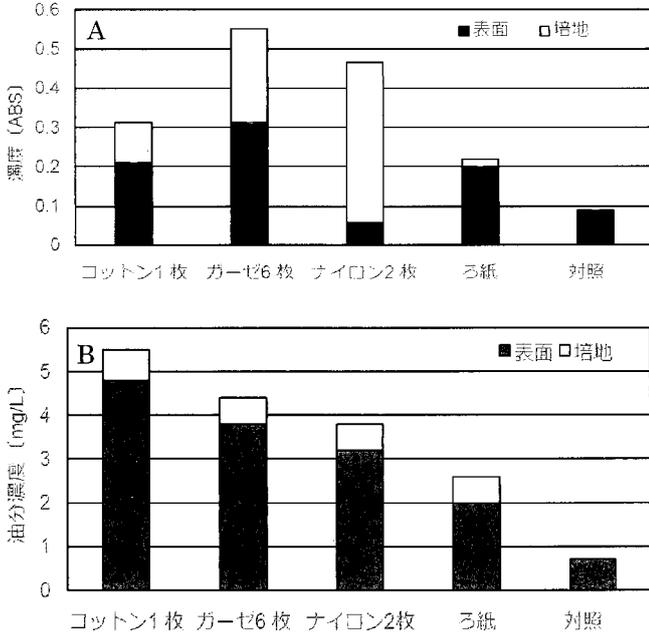


Fig.2 表面培養による藻体濁度(A) および漏出油分濃度(B)

3.2 吸着剤による漏出油分回収の検討

シリカゲルと XAD について検討を行ったところ XAD のほうがシリカゲルよりも、油分吸着量が高いことがわかった。そこで、XAD の量を 2.0 g・1.0 g・0.50 g・0.25 g の 4 条件として、吸着量の変化を比較した。XAD を加えていないものを対照とし、油分吸着量の結果を Fig.3 に示した。XAD 1.0 g による吸着量は、藻体懸濁液の油分の約半分であり、XAD の量を増やすと油分の吸着量が上昇した。従って、油分の吸着量は吸着剤量に依存していると考えられた。

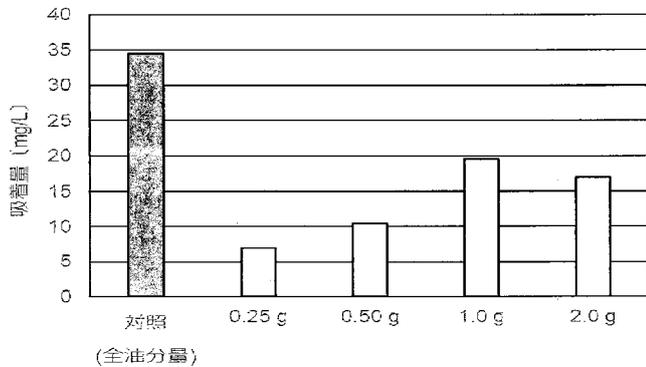


Fig.3 XAD による油分吸着量

3.3 脂肪酸の定量による油分量の測定および有機溶剤による漏出条件の検討

弱アルカリ加水分解(けん化)の後に TMS -ジアゾメ

タンでメチルエステル化する方法で、脂肪酸分析を行ったところ、パルミチン酸(C_{16:0})と複数の不飽和脂肪酸を検出した。弱アルカリ加水分解を行った試料の GC-MS のマスクロマトグラムを Fig.4 に示す。これにより、藻体の脂肪酸を定量し油分を定量する方法を確立することができた。

次に、滴下型表面培養の培地にエタノールおよびジメチルスルホキシド(DMSO)を加え、培地に漏出される脂肪酸を定量した。結果を Fig.5 に示す。エタノール 2%~3% の条件では藻体が増殖阻害を受けたため、脂肪酸がほとんど検出されなかったが、DMSO 2%~3% の条件では脂肪酸がより多く検出された。このことから、DMSO を用いることにより、漏出油分を回収する系ができる可能性が示された。

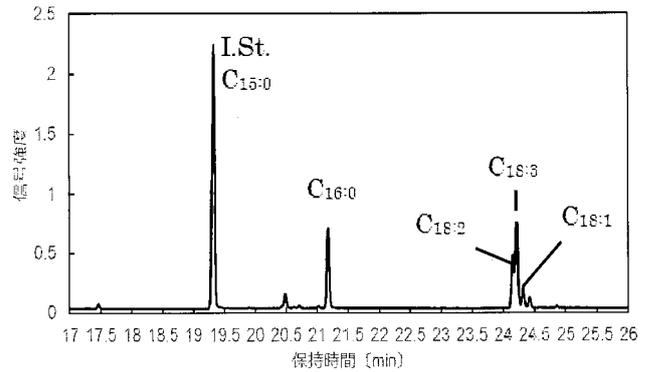


Fig.4 弱アルカリ加水分解を用いた脂肪酸分析のマスクロマトグラム

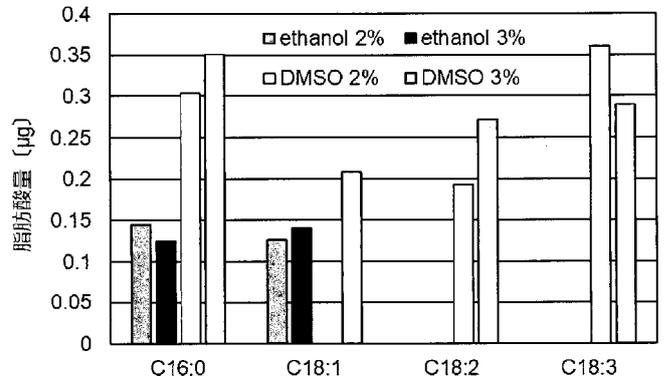


Fig.5 有機溶剤による漏出油分

4 結言

滴下型表面培養を行うことにより、増殖の促進および漏出油分の増加が確認された。漏出油分の吸着には XAD が有効であり、吸着量は吸着剤の量に依存することが観察された。弱アルカリ加水分解を用いた脂肪酸定量により油分を脂肪酸量で定量する方法を確立することができた。また、有機溶剤を用いた漏出油分の回収では、DMSO 2%~3% を培地に含ませることにより、漏出油分を回収することができる可能性が示された。本研究の結果は、微細藻類を用いた油分生産方法の進歩につながると考えられた。

二輪車用死角確認システムに関する研究

情報学専攻 今村 知磨
 指導教授 水井 潔
 指導教員 永長 知孝

1 はじめに

二輪車を想定した安全運転支援システムはいくつか検討、実用化が行われているものの、四輪車に比べて普及が遅れている。二輪車は四輪車と比較して、車体の構造や運転操作に大きな違いがあり、同一のシステムを用いることが適切ではない場合がある。また、二輪車にはサイドミラーが設置されているが、サイドミラーでは見えない死角が存在している。ライダーは進路変更や右左折時に死角領域を確認する場合、頭部を後ろに向けて目視する必要がある。しかし、頭部を後ろに向けた目視による後方確認は前方車両への衝突の危険性があり、目視をしなければ進路変更時や右左折時に死角にいる他車両との接触の危険性がある。

そこで本研究では、二輪車専用の安全運転支援システムを検討する。使用している車両の種類などに関わらず後付けが可能であり、頭部を後ろに回ることなく死角領域を確認可能なシステムの構築を行う。更に死角領域に車両がある場合に、ライダーに警告を行うシステムを検討する。これにより進路変更時や右左折時にライダーが後ろを向くことなく危険を認識することが可能になる。

2 二輪車のミラー視野測定

二輪車のミラー視野の測定を行った。今回使用した車両は HONDA の LEAD125 である。その結果、図 1 のように右ミラーの視野角が約 18.6 度、左ミラーの視野角が約 22.9 度であることが確認できた。なお、この結果はあくまで一例であり、使用する車両やミラー、利用する人物などにより異なる。

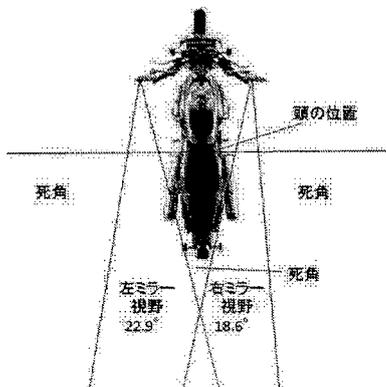


図1 測定結果イメージ

3 二輪車用死角確認システム

3.1 提案システム²⁾

提案システムの概要を図 2 に示す。二輪車のハンドル部にモバイル端末を設置し、ヘルメットか車体後方にカメラユニットを取り付ける。カメラユニットで二輪車の後方を撮影しモバイル端末は撮影した映像の表示を行う。カメラユニットとモバイル端末は Wi-Fi Direct で無線接続を行っている。

今回映像を表示するモバイル端末には Android タブレットを、カメラユニットは Raspberry Pi 3 Model B と専用のカメラモジュールを使用した。使用したカメラモジュールの画角が 60 度であるため、図 3 のように後方 60 度が確認できるようになる。しかし、死角は車両の側面に多くカメラ 1 台では車両側面に対しては対応できない。

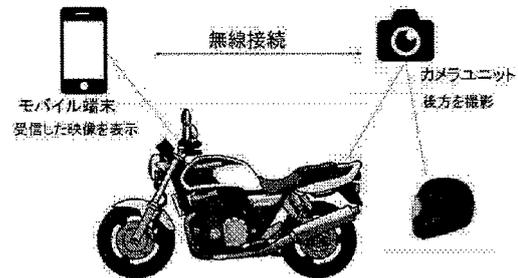


図2 システム概要図

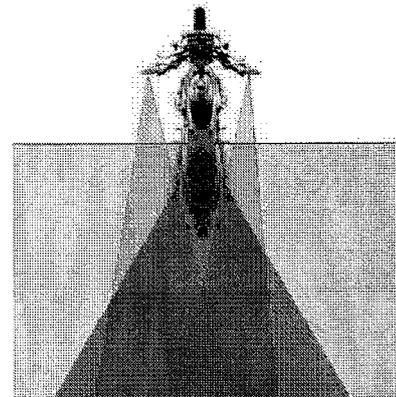


図3 カメラ視野イメージ

3.2 提案システムの改良

車両には側面に死角が多いことから 1 台のカメラでは対応できず、またミラー視野測定により車両の後方領域は殆どミラーで確認できていることが分かっている。そのため、ミラーで車両の後方を確認し、側面

の死角領域をカメラ映像によって補うシステムを検討する。基本的な動作は改良前のシステムと同様であるが、改良型システムではカメラを2台にし、それぞれのカメラを左右側面の死角領域に向ける。図4に改良型システムのカメラ撮影イメージを示す。カメラを2台側面に向けたことにより側面の死角を映像で確認できる。ただし、モバイル端末に2台のカメラユニットの映像が表示されると視認性が悪くなるため、カメラユニットの映像は1台ずつとし、Raspberry Piに取り付けたタクトスイッチにより映像を切り替える。タクトスイッチはハンドル部左手側に設置し、ライダーはウインカー操作同様に左手で映像を切り替える。

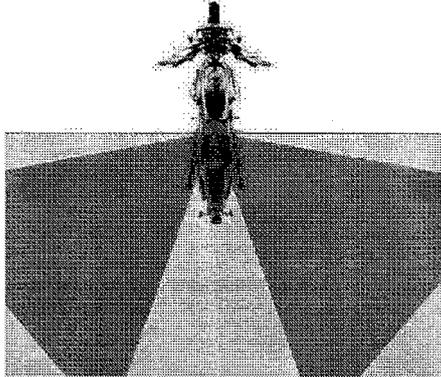


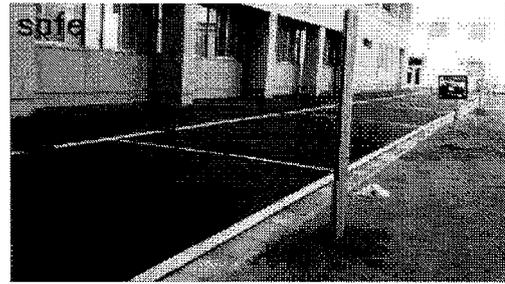
図4 改良型システムのカメラ視野イメージ

4 警告システム

提案システムにおいて、より安全性を高めるためにライダーへの警告システムの実装を検討する。死角領域を撮影したカメラ映像から物体検出を行い、車両を認識する。認識した車両が自車両へ近い場合にライダーに警告を促す。物体検出のアルゴリズムはYOLO⁹⁾を使用した。

ライダーに警告を行うにあたり、車両を検出した画像から危険性を判断する。ライダーが進路変更や右左折時に死角領域に車両が存在し、かつ自車両に接近している状態でライダーが気付かずに進路変更すると接触の可能性がある状態を危険な状態と想定している。検出した車両の接近状態を把握するために、検出した車両との距離を測る必要がある。

単眼カメラで距離を測る手法として、ナンバープレートなどの大きさが既知のものから推定する手法などがあるが、今回は車両を検出した時のバウンディングボックスの大きさで判断を行う。1枚の画像において、物体が撮影地点の近くにあればあるほどその物体が画像内で占める割合が大きくなる。つまり物体が近いほど面積が大きくなる。これを利用し、バウンディングボックスの面積から車両が遠く「安全」、車両が近く「危険」、その中間である「注意が必要」の3段階で判断する。「安全」、「注意が必要」、「危険」でそれぞれバウンディングボックスの色を青色、緑色、赤色で変化させ、またそれぞれ画像の左上に「safe」、「attention」、「danger」の文字を表示する。3つの状態をそれぞれ図5に示す。



a) 車両が離脱している「安全」判定



b) 「安全」と「危険」の中間「注意が必要」判定



c) 車両が接近している「危険」判定

図5 警告システムの3つの状態

5 おわりに

本研究では、死角領域に向けた Raspberry Pi のカメラモジュールをヘルメットに装着し、Wi-Fi Directにより無線接続した Android 端末を二輪車ハンドル部に取り付け、カメラ映像を端末に表示して確認することで、ライダーが頭部の大きな動作なしに死角領域を確認できるシステムを検討した。また、警告システムを作成し、「安全」「注意が必要」「危険」の3段階で警告を行っている。しかし、リアルタイム性や雨などの天候を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 木谷 友哉：“Bikeinformatics：情報科学的二輪車ITSの基盤研究”，マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム
- 2) Kazuma Imamura, Tomotaka Nagaosa, Kiyoshi Mizui, “A rear view monitor system for a motorcycle using Wi-Fi direct”, in Singapore. 25th ITS World Congress, AP-TP2030
- 3) Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”, IEEE CVPR 2016, pp. 779-788

深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測システム

情報学専攻 前嶋 恵輔
指導教授 元木 誠

1 はじめに

テキスタイル・アパレル市場ではイラストや写真などの画像をポリエステル素材の生地や衣類に印刷する方法として、スクリーン印刷方式、昇華転写プリント方式およびダイレクト昇華プリント方式などが採用されている。

本研究では、昇華転写プリント方式に着目し、深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測システムを構築するための基礎的な研究として、昇華転写プリントにおける原画像の色や印刷設定等をもとに、深層学習を用いて転写後および転写前の色予測を行う手法を提案する。

2 昇華転写プリントと問題点

昇華転写プリントはポリエステル素材の布に印刷することができるプリント方法である。図1は昇華転写プリントの工程を示している。

まず、PC等で原画像を作成し、画像データを昇華転写プリンタを用いて昇華転写インクで転写紙にミラープリントし、乾燥させる。つづいて、転写紙と印刷したいメディアを重ねて転写機へ挿入し、加圧・加熱することにより、メディアを染色することができる。

ここで、問題となるのが、原画像と完成したメディアの色に差が生じ、所望の発色とならない点である。そのため、完成品が所望の発色となるまで、印刷された転写紙および完成したメディアを測色し、その値をもとに印刷条件を調整、印刷を繰り返す。その結果、転写紙およびメディアを消耗するだけでなく、調整に要する時間も増加し、印刷コストが高くなる。完成したメディアが所望の発色となるように、昇華転写プリンタの印刷条件および転写機の設定を自動的に調整、もしくは、印刷条件および転写機の設定をユーザが指定し、転写紙に印刷する際の原画像を補正できれば、印刷コストを抑制できる。

3 深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測

本研究の最終目標である深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測システムは、理想的な転写後メディアの発色から転写紙の発色を予測し、予測した転写紙の発色から原画像の色を予測する。その予測結果をもとに原画像を補正することで、完成したメディアが原画像と同じ発色となる。そこで本研究では、基礎研究として深層学習を用いて転写後のメディアまたは、

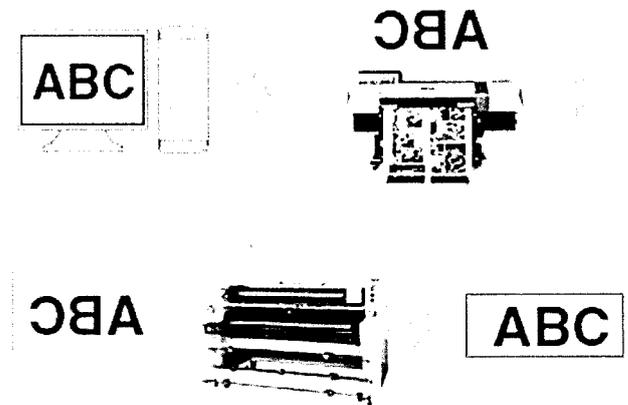


図1 昇華転写プリントの工程¹⁾

転写紙の色を予測する手法を提案する。

3.1 深層学習を用いた色予測システムの構築手順

本研究では、予測精度を予測値と転写後および転写前測色値の色差 ΔE^* で評価する。最大色差 ΔE_{\max}^* を基準参考値²⁾におけるA級許容差である3.2以下にすることを目標とする。色差 ΔE^* は式(1)で表すことができる。

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_e^* - L_t^*)^2 + (a_e^* - a_t^*)^2 + (b_e^* - b_t^*)^2} \quad (1)$$

ここで、 L_e^* 、 a_e^* 、 b_e^* は転写後のメディアの予測値、 L_t^* 、 a_t^* 、 b_t^* は転写後のメディアの測色値である。

深層学習を用いた転写後および転写前の色予測システムの構築手順を以下に示す。

- (1) 原画像として、1,512色(C, M, Y, K)のカラーパターンを作成
- (2) 解像度、カラーマッチングを設定し、転写紙を選択し、昇華転写プリンタで乾燥時間分の転写紙に印刷するとともに、印刷直後の転写紙を測色、記録(転写前測色値)
- (3) 転写紙を乾燥(0時間~24時間)
- (4) 転写機のパラメータ設定、転写メディアを選択し、転写機でメディアに転写
- (5) 転写後のメディアを測色、記録(転写後測色値)
- (6) 手順(3)~(5)をすべての解像度、カラーマッチング、乾燥時間で繰り返し、データセットを作成
- (7) Deep Neural Network (DNN)を構成、学習
- (8) 予測値と測色値の色差が3.2以下になるようにDNNの構成、学習パラメータを変更し、手順(7)を繰り返す

以上の手順により転写前測色値もしくは転写後測色値を予測できる。

表1 転写後の色予測結果

分割パターン	構造	成功率	$\Delta E^*3.2$ 以上のデータ数
A	DNN	99.48%	105 個
	NN	99.28%	146 個
B	DNN	99.41%	119 個

3.2 検証実験

3.1 の手順で構築した予測システムの予測精度を検証するための実験を行う。

3.2.1 転写後の色予測

転写後の色予測に用いるデータセットの入力データは、カラーパターン、解像度、カラーマッチング設定、乾燥時間、転写前測色値、出力データは転写後測色値とする。その結果、データの総数は120,960個となり、100,800個を訓練データとして、20,160個を検証データとして使用する。

データセットは未知の属性を予測するためのランダム分割および未知の色を予測するためにカラーパターンを分割する2パターンの実験を行い、DNNとNNで $\Delta E^*3.2$ 以上のデータ数を比較する。

3.2.2 訓練データと検証データの比率に関する検討

3.2.1と同様のデータセットおよび2種類の分割パターンを用いて、訓練データと検証データの比率を5:1, 11:1, 23:1に変更して実験を行い、 $\Delta E^*3.2$ 以上のデータ数を比較する。

3.2.3 転写前の色予測

転写前の色予測に用いるデータセットの入力データは、カラーパターン、解像度、カラーマッチング設定、乾燥時間、転写後測色値、出力データは転写前測色値であり、3.2.1と同様のデータセットを使用し、 $\Delta E^*3.2$ 以上のデータ数を比較する。

3.3 実験結果

各検証実験における予測結果を表1, 表2, 表3に示す。表2および表3は各属性において $\Delta E^*3.2$ 以上となったデータ数である(3回の実験の平均)。

実験結果より、転写後の色予測は高い精度で予測でき、データセットに使用した色以外の色も予測できる可能性が高いことがわかる。また、訓練データを追加することで $\Delta E^*3.2$ 以上のデータを減少できると考えられる。さらに、転写前の色予測は転写後の色予測より高い結果となった。これは、今後、転写後のメディアが理想的な発色となるような転写紙の色を予測し、さらに、予測した転写紙の色から原画像の色を補正するシステムを構築できる可能性を示している。

4 おわりに

本研究では、深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測システムのための転写後および転写前の色予測手法を提案した。実験の結果、高い精度で色を予測することができたが、 $\Delta E^*3.2$ 以上のデータが一定である結果となった。

表2 訓練データと検証データの比率に関する検討 ($\Delta E^*3.2$ 以上のデータ数)

解像度	検証用データ	360 x 360	540 x 360	720 x 720	720 x 1080	
	20,160	32.7	54.7	10.3	10.3	
10,080	24.7	24.3	5.7	6.3		
	5,040	12.0	9.3	2.3	4.7	
カラーマッチング	検証用データ	グレーバランス		icc		
	20,160	119.0		9.0		
10,080	54.7		6.3			
5,040	25.7		3.7			
乾燥時間 [h]	検証用データ	0	1	2	3	4
	20,160	10.3	19.7	7.0	44.0	18.0
	10,080	3.7	9.0	1.7	22.3	9.0
	5,040	2.7	3.3	1.3	7.7	4.3
	検証用データ	5	6	7	8	24
	20,160	8.7	4.7	11.7	3.0	1.0
10,080	7.3	0.7	5.7	1.7	0.0	
5,040	4.7	0.3	3.3	0.3	0.3	

表3 転写前の色予測結果 ($\Delta E^*3.2$ 以上のデータ数)

解像度	検証用データ	360 x 360	540 x 360	720 x 720	720 x 1080	
	10,080	0.3	3.7	3.7	7.0	
5,040	0.3	0.7	0.3	0.3		
カラーマッチング	検証用データ	グレーバランス		icc		
	10,080	0.3		14.3		
5,040	1.0		0.7			
乾燥時間 [h]	検証用データ	0	1	2	3	4
	10,080	1.7	1.3	1.3	1.7	1.7
	5,040	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3
	検証用データ	5	6	7	8	24
	10,080	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3
	5,040	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0

今後は、 ΔE^* が3.2より大きいデータを中心に色差が大きくなった原因と解決方法を検討する。さらに、深層学習を用いた昇華転写プリントの色予測システムを構築するため、転写後メディアから転写紙の色を予測し、予測した転写紙の発色から原画像の色を予測する実験を行う必要がある。

参考文献

- (1) 株式会社ミマキエンジニアリングホームページ：
https://japan.mimaki.com/topics/product/inkjet_printer/sublimation-inkjet-printer.html
- (2) 田中賢二, 米光敏, 松本朋彦: “昇華染料型プリンタ Trueprint 2200の色再現技術”, 電子写真学会誌, vol.32, No.2(1993), pp.165-171

理工学部／建築・環境学部

卒 業 論 文 題 目

〔理工学部理工学科生命学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
細菌生化学	川原 一芳	<i>Aureispira</i> 属菌種のセラミド様脂質に関する研究 コリスチン耐性に関わるリピド A 構造修飾の阻害剤の探索 植物由来新規乳酸菌の分類学的性状の検討 <i>Campylobacter jejuni</i> 由来脂肪酸転移酵素遺伝子の導入による大腸菌リピド A 構造の改変 <i>Sphingomonas asaccharolytica</i> 由来オリゴ糖型 GSL の精製と化学的性状の検討 テレフタル酸分解菌のペプチドグリカンおよび脂質の分析 火落ち菌および類緑乳酸菌の菌体脂肪酸とグリセロ糖脂質の分析	奥田 淳平 小川 和也 木村沙那子 時久 知也 嶋貫 楓 高瀬陽南子 駒井美紗
動物分子生物学	海老原 充	アナグマの苦味受容体 <i>T2Rs</i> 遺伝子の単離 ヒトコブラクダの苦味受容体解析 テンの酸味受容体 <i>PKDIL3</i> 遺伝子の同定 アルダブラゾウガメにおける酸味受容体 <i>PKD2L1</i> 遺伝子の解析 ヒョウモンガメにおけるアロマトーゼ遺伝子の解析 インドホシガメの性決定に関与するアロマトーゼ遺伝子の解析 動物園と連携した稀少動物の保護・繁殖のための鳥類雌雄鑑別	笹原 望 渡邊 ゆう 山崎玲央奈 馬場 宥熙 鈴川 晃輝 平田 幸大 菅谷 直樹
化学生物学	飯田 博一	マイクロ波照射 Hofmann 転位反応を用いたメマンチン合成への応用 マイクロ波照射による Michael 付加反応へ及ぼす影響の研究 マイクロ波照射下での 1,4-付加反応と転位反応の機器依存性 4 位をアミノ基に置き換えた 4-PBA 類似体の効率的な合成 マイクロ波照射下における酵素を用いた立体的選択なアセチル化	齊藤摩里奈 笠原 綾乃 松田 康佑 阿部 雄斗 柳田 萌美
細胞生物学	尾之上さくら	乳酸菌由来ペプチドグリカンのペプチド組成と免疫活性の関連性 食品添加物による NB-1 細胞の形態変化 ヒト小児由来神経芽細胞腫細胞に与える食用タール色素の影響 ヒト結腸癌由来細胞に対する食品添加物の影響	野口 翔 長澤 将太 柴田 夕夏 玉置 悦朗
植物分子生物学	近藤 陽一	シロイヌナズナを用いた 4-PBA とその類似体の生理活性評価 4-PBA 類似体による植物の重力屈性阻害効果の作用機序 塩耐性を植物に付与する遺伝子の評価 ゲノム編集により作成した <i>ZAT9H1</i> 欠損変異体の解析 ゼニゴケの UV-B 応答の分子機構の解析	石記 結奈 石井勘太郎 菊池 捷太 富田 敦也 高橋 和
真菌学	清水 由巳	白色腐朽菌のリグニン分解酵素のゴム分解への関与 利尻産酵母：203-10 株の低温活性リパーゼ産生条件 <i>Wickerhamomyces psychrolipolyticus</i> 202-2 株の細胞外分泌リパーゼ遺伝子のクローニングの試み 莢膜合成関連遺伝子 <i>CAP64</i> とオルガネラとの関与について <i>C. neoformans</i> の Heparinase 遺伝子ホモログ相補株作製の試み 担子菌酵母 <i>Cryptococcus neoformans</i> を用いた <i>Saccharomyces cerevisiae URA2</i> 遺伝子導入カセットの構築 カフェイン耐性 <i>Aspergillus niger</i> 分離株 MY2, MY5 株が産生するオクラトキシン合成と OTA 合成遺伝子クラスターの構造	折館 拓馬 小泉 浩敬 青野 茉衣 上崎 竜一 桶川 直実 天野 豪介 岡村 砂瑛
藻類代謝生理学	新家 弘也	ハプト藻におけるオイル分解抑制変異体の解析 アルケノン高産生変異株における CO ₂ の影響 エキネノン合成候補遺伝子の解析 フィコシアニンを用いたケミカルシャペロンの簡易評価	副島 敬佑 吉田 雅貴 渡邊 侑夏 加藤 真治
神経生物学	北村美一郎	ミミズの慣れの成立に関与するセロトニン受容体の同定 セロトニン合成酵素阻害薬がミミズの慣れに与える影響 ミミズ繰り返し体壁刺激による慣れの評価のための新規実験系の構築 ミミズ腹髄神経節・側神経束からの体壁刺激による神経活動の記録	中原 敏彰 高橋 輝 高橋 克哉 内田 匠保

〔理工学部理工学科数物学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
代 数 学	大谷 信一	整数の分割と母関数 メビウス変換と双曲幾何について 完全数のある種の一般化について	齊藤 亜希 嶋原 拓夢 押 勇樹
代 数 学	神蔵 正	オイラー関数について 代数方程式の解の公式について	小川 颯 原 夕貴
神 経 生 物 物 理 学	北村美一郎	古典的条件づけによるミミズの長期記憶の評価 ミミズの短期記憶形成における一酸化窒素 (NO) の役割	菊池 泰生 南部 友輝
数 論 アルゴリズム	長尾 孝一	線形符号の理論とコード化 Python言語によるカードゲーム algo のプログラム化	浅妻 遼 原 圭吾
数 学 教 育	中和 渚	中学校数学科における生徒のつまずきに関する研究 高等学校数学科における課題学習に関する教材開発研究	飯島 秀明 出石 夕奈
高エネルギー 天 文 学	中嶋 大	次期 X 線天文衛星 XRISM 搭載 CCD 信号処理用 ASIC の開発	檜村 晶
量子多体論	船木 靖郎	虚時間発展法を用いた元素合成反応におけるトンネル効果の記述	石田 隼人
理論物理学	山田 泰一	量子計算とドイチュ・ジョサアルゴリズム	昆藤ゆりな

〔理工学部理工学科化学学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
無機化学	濱上 寿一	ゾルーゲル・温水処理法を用いたチタニア薄膜の作製とプラズモニック太陽電池特性 簡易型スパッタ装置を用いた金属ナノ構造体の作製と評価 金ナノロッドの合成と評価 電気泳動法を用いた銅ナノ粒子担持チタニア光電極の作製とプラズモニック太陽電池特性	阿部 一馬 大橋 拓実 加藤奈々美 長谷川瑞月
電気化学	友野 和哲	竹炭とCNTの混合薄膜を基板としたSi負極材料の作製と電気化学評価に関する研究 界面活性剤による層間内二分子膜構造の形成と層間内のカチオン染料分子挙動に関する研究 層間アDMIセルによる金属錯体の脱離抑制と光照射によるキャパシタ向上に関する研究 Co錯体を層間にもつ層状MnO ₂ の光照射による影響と膜厚の最適化に関する研究 長鎖アルキルアンモニウムを層間物質とするMnO ₂ 薄膜の作製とフェニトロチオンの捕集・分解に関する研究 二種の遷移金属錯体を用いたハイブリッド型層状酸化物薄膜の作製に関する研究 竹炭/カーボンナノチューブ混合膜を導電補助材とするMnO ₂ 薄膜の作製と高キャパシタンス維持に関する研究	板倉 誠 江藤 勇 欧 逸生 君塚 雄高 高橋 洸太 夏井 公大 吉永 雄介
化学工学	武田 俊哉	微生物燃料電池 (MFC) 構造内の効率的な電気取り出し条件の検討 紙資源からのグルコース回収の最適な前処理法の検討	濱 倫子 宮澤 哲平
物理化学	松井 和則	フェノサフラニンによる酸素検知剤の作成 酸塩基指示薬を用いた酢酸ガス検知紙の開発 長残光蛍光体・希土類錯体複合体の作製	齋藤 美羽 津田 一 長岡虎太郎
表面工学	小岩 一郎	非懸濁液からの複合めっき膜作製に関する文献調査 銅-モリブデン合金めっき膜における微量金属添加がモリブデン含有量に与える影響 非水溶媒を用いたアルミニウムめっき浴へのアンモニウム塩添加効果 高濃度シリカ溶液の安定合成と有機ポリマーとのハイブリッド化 グリシン添加めっき浴のシアン生成防止方法	安藤 洸太 板倉 雄介 笹野 棕子 中山 裕斗 山田 彰人
基礎科学	山平多恵子	海洋生物由来の環状ペプチドを構成するジペプチドの合成研究 薬剤開発に有用な非天然アミノ酸の合成に関する検討 アルツハイマー病治療薬設計に有効なアミノ酸の特定 ペプチド型ヒストン脱メチル化酵素阻害剤の低分子量化研究	伊藤 祥真 佐土原良貴 高須 教匡 森口 福司
高分子化学	香西 博明	有機酸を用いたホウ酸フリー高速ニッケルめっき マイクロ波を用いたフェノチアジン部位を有する高分子材料の合成 ロジウム触媒を用いたモノ置換ポリアセチレンの合成および性質 白色腐朽菌を用いた合成ゴムの分解挙動 キセノンランプを用いた増感剤存在下での加硫ゴムの光分解 液晶性を有する新規なポリウレタンの合成および特性 植物由来ヒマシ油をベースとする架橋エラストマーへの新展開	秋澤 英里 北澤 貞文 佐藤 陽太 佐藤 脩真 鳥山 航平 仲野 麗菜 長谷川愛恵
環境衛生工学	鎌田 素之	水環境中におけるマイクロプラスチックに関する文献調査 人工芝グラウンドからのマイクロプラスチック負荷量に関する基礎的検討 高分解能LC/MSを用いたノンターゲット分析による水環境中の農薬分解物の同定への試み 我が国のコウタケの放射性物質による汚染状況に関する考察 鶴見川水系に排出されるフィプロニルに関する考察	竹村 恭子 伊藤 尚輝 小野 佑太 美留町 亨 吉見 友希
無機化学	濱上 寿一	電気泳動法を用いた酸化タングステン粒子膜の作製と太陽電池特性の評価 光触媒酸化チタンに関する文献研究	外山 渚 下村 和優

2019年度理工学部卒業論文題目

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
環境衛生工学	鎌田 素之	全国河川水の農薬検出に関する基礎的検討	森田 晴海

〔理工学部理工学科機械学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
機素材料力学	堀田 智哉	微細断続切削によって形成されたテクスチャが円すいころ軸受の動トルクに与える影響	林 晨
		FEM解析による円すいころ軸受のラジアル剛性評価	秋山 彪雅
		潤滑油中のフラーレン分散濃度が軸受の動トルクへ与える影響	高崎 涼
		アルケノンの塗布量と摩擦力の関係	高梨 隼平
		アキシャル方向の外部振動が軸受疲労寿命におよぼす影響（外部振動加速度が5.0 m/s ² の場合）	田中 祐介
		荷重負荷条件が軸受疲労寿命におよぼす影響（封入グリースによる影響）	田邊 雅人
		定位置予圧におけるアングュラ玉軸受の予圧変化に関する研究（接触角が90°の場合）	村上 裕哉
		ころ大端面へのディンプル付与による円すいころ軸受の低トルク化（ディンプル付与位置がトルクへ与える影響）	笠木 一志
		微量油潤滑における軸受疲労寿命の明確化	平河内 匠
		Ni-P-PTFEめっきによる無潤滑転がり軸受の開発	飯島 大
計測制御	金田 徹	AIとロボットとの関係性（将来のロボット共生社会に関する調査）	管野 直哉
		四足歩行ロボット aibo の動作制御（アニマルセラピーを考慮したヒーリング効果向上のプログラムの基礎の開発）	吉野 光亮
		金型工程と連携した幾何公差を基本とする加湿器の3D設計（JSDE/JEITA設計コンテスト2019への参加）	黒澤 孝史 星 征範
機械情報工学	小松 督	自動運転時のドライバーへの生理的負荷について	神尾 康太 曾我 萌
		プレゼンターロボット Kei-4 の情報表現方法の検討	加藤 士龍 猪川 祐伎 生田 真大
		ディープラーニングによるパターン分類の検討	大村 賢一 濱田 竜也
		惑星基地内2足ロボットの運動モデルの高精度化	大場 響 田宮 勇佑
		コミュニケーション時の生理的負荷の検討	大籾 航 鈴木 裕晶
		2足ロボット用月面シミュレータの試作	吉沢 祐人
		チューブ型蒸発器を有するループヒートパイプの検討	海老名 颯介
地上用ループヒートパイプの開発 -再起動時における熱輸送特性の把握-	鈴木 隆矢 木下 知貴 丸岡 将 竹之内 乾也		
プレート型再生器を用いた吸収冷凍サイクルにおける気液分離器の検討	木川 直哉 富樫 魁 前田宗一郎 横山 流星 渡邊祥太郎		
内 燃 機 関	武田 克彦 伊東 和彦	水素を用いたDDFエンジンの実験的研究（水素当量比の影響について）	坂本 雅也 中嶌 和也
		軽油への空気付加による燃焼改善の実験的検証（酸素選択透過膜による酸素付加の試み）	小柳 智洸 萬 志揚 蓬田 周平
		廃プラスチック分解油を用いるディーゼル発電機の実用化への試み（低エミッション化と高効率化の追求）	トウヴァン チュン 永井 瑛 山口 凌汰
		オールド・ダットサンから学ぶ自動車技術の変遷（駆動系技術の進化について）	小島 聖也 能勢 雄太 山本 誠司
流体工学	野田 龍介	磁場発生装置を用いた定量的外乱下での羽ばたき飛行安定性の研究	庄司明日香 中島 優太 富松 優輝

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
流 体 工 学	宮永 宜典	マルチコプター型ドローンにおける低騒音化の取り組み 攪拌性能の観点から見た生物羽ばたき飛翔 飛翔生物を規範とした羽ばたき機構の開発	井上 直也 星 隆太郎 小泉 竜弥 菅原 北斗 吉崎 稜 今井 優輔 西村真紀恵
トライボロジー	宮永 宜典	ステンレス鋼に対する各種樹脂材料の水潤滑特性の検討 ディンプルを有する平行平板軸受の動特性 マイクロディンプル表面の潤滑特性の検討 グリースのレオロジー特性が転がり軸受のトルクにおよぼす影響	白坂 裕樹 三浦 真 中野 勇武 安部 広樹 藤井 遼
機 械 工 作	内山 光夫	電解加工による三次元曲がり穴加工の研究（磁石式電極による三次元曲がり穴加工） 傾斜切削法による高硬度材切削加工の研究（断続切削における仕上げ面粗さ向上-その2-） 小径ドリルの高送り加工の研究（ドリルねじれ角の最適値に関する解析） 陽極酸化ナノホールによる熱伝達向上の研究（陽極酸化加工と電解加工の両立性確認）	鈴木 裕久 野間 誠 町田 充宏 今井 悠喜 二瓶光太郎 田中 菖平 松林 雄希 小松 隼人 鈴木 拓弥
材 料 加 工 プ ロ セ ス	柳生 裕聖	不混和溶液を用いたトルエン分散金ナノ粒子の合成 4相流マイクロ流体デバイスを用いた金ナノ粒子合成における流量差の影響 マイクロ流体デバイス内の溶液の可視化に関する研究 4相流マイクロ流体デバイスを用いた金ナノ粒子合成における流路深さの影響 アスコルビン酸を用いた銅ナノ粒子合成に関する研究 マイクロプラスト加工における基板加熱による加工形状の制御 ウェットエッチングによるガラス製マイクロ流体デバイスの作製 シリコン/ガラス製マイクロ流体デバイスの作製	日吉 雅人 小川 隼人 斎藤 陽太 岩松 和力 篠生 遼 高田 幹斉 入倉 英彰 黒田 一成 花田 雲海
機 械 設 計	辻森 淳	センサ搭載型ソフトロボットにおける最適化についての検討 四脚ソフトロボットの速度安定歩容に関する研究	藤田 龍弘 村松 佳造 安武 翼 坂本 健太 奥西 一人 小暮 健人 西澤 架 矢島 大暉

〔理工学部理工学科電気学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
高電圧工学	植原 博明	アルミナの添加量を変化させたエポキシ試料の複素比誘電率の計測 針-平板電極系における部分放電特性の印加電圧周波数依存性 部分放電特性の積分方程式による解析方法 紫外線を照射したときの固体高分子形燃料電池の稼働特性 モル濃度変化時における電気二重層キャパシタの静電容量比較	赤羽 和樹 伊藤 幸太 高橋 廉 北原 智輝 田中 力
電力工学	中野 幸夫	偶数次高調波の応用に関する研究 - 三相動力回路への注入 - スマートメーターを活用した熱中症予防システムの開発 -Aルートデータを用いたシステムの性能評価- スマートメーターAルートを活用した高齢者見守りシステム -2018年度データを中心とした見守り性能の評価- スマートメーターBルートを活用した高齢者見守りシステム -見守り性能の評価-	小嶋 洋裕 市川 友也 大須賀裕人 星野 慎 瀬川 耀斗 李 恬雅
計算物性工学	島田 和宏	Y_2O_3 の弾性定数の第一原理計算 M_2O_3 (M=Al,Sc,Ga,Y,In) の弾性定数の第一原理計算	山之内 淳 青木 涼 安達 大晃 長谷川太一 花嶋 拓哉 蛭田 喜貴
電子デバイス工学	平松 友康	金属極薄膜を堆積したセラミックスの感湿特性	石巻 一真 高橋 海斗 長友 秀祐
光デバイス工学	石坂 雄平	TE_{01} モード用3dBカプラのデバイス長に関する研究 MATLAB Automated Driving System Toolboxを用いた歩行者飛び出し検知シミュレーション 金属アシスト型 Si_3N_4 スロット導波路を用いたバイオセンサのセンサ感度評価	橋本 隆史 矢次 拓登 山浦日出海 小山 貴史 永井 治紀 鳥澤 哲 太田 海聖
並列分散工学	銭 飛	SDN実験用プラットフォームの構築 SDNを利用したセキュリティシールドの構築に関する研究 SDNにおける大規模DDoS攻撃の自動検知に関する研究	池田 修章 旭 大地 須山友莉子 黒田 侑
バイオメカニクス	高橋健太郎	OpenSimを用いた運動解析 フリースタイルサッカーにおけるリフティング動作時の筋活動解析 球種別のコッキング時とリリース時の投球動作解析 女子大学生剣道部員の鍛錬期におけるコンディションチェック ライフル射撃における生体信号解析	酒井 駿 吉江 直紀 加藤 健熙 高田 大地 中村 将希 米盛 奈々 佐藤 寛
人間医工学	糺 弘幸	ウェアラブルデバイスを用いたwavelet変換に基づく自律神経系の状態推定 ニューロンモデルにおける閾値の最適変動量について	朝野 健 奥 直仁 西田 晋 佐藤 颯馬 北條豊志夫

〔理工学部理工学科情報学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
情 報	海老根秀之	EVO Japanのプロモーション映像の制作 3DCGを使用したMVの制作 標識を動かすモーショングラフィックス イラストとモーショングラフィックスを用いたMV制作 オリジナルクイズ番組制作 イラストアニメーションと実写動画を用いたMVの制作 オリジナルミュージック制作 「パンドラボックス」のミュージックビデオ制作	板敷 真人 網代明夏莉 勝田 森介 叶内 彩音 小林 一也 坂本 侑史 袖山慎二郎 萩野 弘菜
	大墨 礼子	数式処理システムとTeXを連動させたソフトウェア開発 高校数学における微分の考え方を教えるためのツール 数値計算における精度の高い浮動小数点数の使用に関する研究 多項式の実数解の数え上げ方法に関する研究 GnuplotとRisa/Asirを用いたグラフの描画 逆行列演算における計算量と演算速度に関する研究	大橋 駿斗 金野 寧耶 高島 航 富松 直子 真木 拓也 山口 海月
	岡本 教佳	ベース演奏動画からのタブ譜自動作成の検討 Kinectを用いたサッカー支援システム Unityを用いた案内アプリ開発-金沢八景キャンパスウォークスルーの実現- OpenCVを用いた瞬き回数の計測 ポイ捨てされたゴミの領域検出について 車載カメラからの道路情報板領域の抽出 ハードダーツボードの矢の検出	木崎 建佑 今村 子竜 岸 賢太 横山 涼 高本 拓典 北野 雅也 加藤 勇輝
	木村 新	簡単な図形における仮想輪郭線の描画 Androidで動作する音楽再生アプリの制作	寺田 弥礼 豊島 稜
	小林 和彦	錆色の道跡 滅殺くん UnrealEngine4で動かすロボットの制作 todays SPY BraveAmicus Ver β 1.0 CINEMA4D FACTORY	阿藤 祐己 石橋 一将 小山 力輝 佐野 正俊 鈴木 真司 西尾 雅也 星 賢太
	佐藤皇太郎	MV「自律神経出張中」 FL Studio 12を使用した標題音楽の制作 VRW ~Virtual Reality War~ 手描きアニメーション「My History in Music」 「夏の半券」MV制作 Kinect Dive in the M Theater ストップモーション「街の灯（ボクシングシーン）」	眞道 雄太 磯邊 大成 大和田 耕 奥村 海斗 片山 環 三好 陸 山本 剛
	塚田 恭章	ブロックチェーンを用いた電子カルテシステムにおけるプライバシー強化 ブロックチェーンを用いたプライバシー保護SNSの提案 ブロックチェーンを用いた分散型ストレージシステムの提案 試行錯誤の変動係数に着目した能動性の定量的な評価 Coqによる自然数リストのソート関数の形式化及び証明 Coqを用いた鳩の巣原理の一般化の形式化と証明 食事する暗号学者プロトコル正当性の証明についての一考察 ProVerifを用いた電子投票プロトコルの匿名性の検証	羽澤 星斗 浪川 海悠 山本 一輝 東野 通洋 高橋 広太 芦田 裕哉 村田 涉 松山 健人

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
情 報	永長 知孝	人体遮蔽を考慮したウェアラブル端末を用いた屋内測位 案内人の情報を共有するキャンパス案内アプリの検討 GPSを用いた野球選手の行動取得について 混雑した場所でも安定したモバイル通信を可能にする通信技術 スマートフォン端末を用いたWi-Fi測位方式の性能比較 複数のビーコンを用いた交通弱者の位置情報管理システムの検討 マニュアルトランスミッションとライダーの傾きに対応した二輪車用VRライドイ ングシミュレータの構築 NFC とカメラを用いた鍵管理システム	泉野 優太 江頭 孝亮 大和田 凌 岡安 佑介 金子 寛隆 坂 稜斗 進藤 良知 三好 椋太
	平野 晃昭	入力画像の改変による画像の認識率 VRを用いた関東学院大学の仮想案内システム ARCoreを用いたマーカーレス型仮想家具配置アプリケーション	今 瑞 優 樹 庄 司 嵩 都 鈴木 暢之
	水井 潔	VRによるカーシミュレーションの制作 双方向マルチソースブーメラン方式 校舎間移動効率向上のための分かりやすい学内ナビアプリの開発 可視光ブーメラン方式の簡易型復調方式へのマンチェスター符号の適用 可視光ブーメラン方式の簡易型復調方式のシミュレーション 車載カメラによる信号機の状況判断に関する一検討 Encoder-Decoder 翻訳モデルを用いた表記変換 迷子防止アプリケーションの開発 研究室鍵開閉確認システム	山本 隆太 友田 駿士 和志武 梓 五十嵐啓太 古泉 清大 内藤 彰大 堀内 慶 三好 直樹 山内 啓生
	元木 誠	ディープニューラルネットワークによる自律移動ロボットコントローラの性能調 査 ドローンを用いた群衆の移動方向推定システム 深層学習を用いた野球の配球予測 Support Vector Machine を用いた複数文書の重要文抽出 RNNを用いた自動作曲による感情に合った音楽の生成 ディープニューラルネットワークによる顔のランドマークを用いた表情認識手法 の提案 深層学習を用いた手話翻訳 Encoder-Decoder 翻訳モデルを用いた方言翻訳システムの改良 ARKitを用いた物体の自動寸法計測	楠山 光 一色 将吾 小川 拓人 小川 莉奈 小出 海斗 佐藤 宏樹 玉田 智哉 廣瀬 智幸 帆苺 力
	本橋 友江	津波における事前管理システム Javaを用いた症状伝達アプリ 数独の難易度評価法の検討 Android studioを用いた日記アプリ 貯金を応援する家計簿アプリケーションの制作 暗記学習支援アプリの制作 時間割管理アプリの作成 テーマパークにおける混雑を考慮した経路選択の検討 Android用卒業単位判定アプリの作成	黒田 航 井上 蓮 岡本 拳人 佐川 将義 佐藤 諒 澤野 太一 柴 竜汰 中村 拓磨 渡邊 裕貴

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
情 報	山本 政宏	可視光を用いた車車間通信のデモ機システム構築 ディスプレイのQRコードを用いた車両追跡システム ディスプレイを用いた電光表示システム 画像処理による金属板表面のキズ検査システムの構築 FSK と ASK を用いた超音波通信システムの構築 マイコンを用いた運転者支援ツールの開発 既存ヘッドホン・イヤホンへの動的消音機能付加について 温湿度センサによる爬虫類飼育環境の管理システムの構築 ハードル競技の練習時転倒補助システムの構築 Bluetoothを用いた立方体イルミネーションの制御	石川 見恵 高橋 城 高橋怜央奈 仲 将志 古川 巧晃 青柳 大翔 磯田廉太郎 金谷 憲樹 小松 優祐 HUYNH THI

〔理工学部理工学科土木学系〕

専門分野	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
地盤防災工学	規矩 大義	PDCにおける地下水位近傍の水圧応答（モデル地盤による検証） PDCの結果を用いて評価した液状化指数PLについて 地層傾斜の違いが液状化時の流動変位に与える影響 iPDCによる細粒分含有率の評価が液状化地盤の流動に与える影響 PDCによる地下水位近傍の水圧応答（原位置による検証） 表面波探査による地層判別に追加ボーリングの結果が与える影響	稲田 将太 斉藤 正昂 三原 貫 高野 龍仁 角田 翔 廣瀬 蓮 見留 光一 安田 承 山田 伊織
コンクリート工学	出雲 淳一	各種PCの定着工法について 連続繊維ロープの緊張定着方法についての検討 アラミド繊維ロープを緊張材として用いた場合のコンクリートはりの曲げ性状 連続繊維ロープを緊張材としたコンクリートはりとRCはりの曲げ挙動	落合 昌太 高山 優 松本 兜 村崎 俊太
地球内部物理学	前田 直樹	横須賀市平作川低地における単点微動観測 平作川低地における微小アレイ観測 関東学院大学金沢八景キャンパスにおける微動アレイ観測	羽畑 勇作 遠藤 真仁 久保 勇樹 杉原 宏径 金堂 大河 竹内 遼平
耐風・風工学	中藤 誠二	浮体構造物の風応答に関する基礎的研究	佐藤 祐太
都市防災学	鳥澤 一晃	熊本地震における市町村別の避難者数と各種避難要因の相関分析 降水量統計データ更新による豪雨災害予測値の変化に関する基礎的検討 熊本地震における道路通行止めの分析とそれに基づく予測モデルの検討 道路・航路・空路統合ネットワークを考慮した震災時の物流網途絶による影響評価 東日本大震災の被害データに基づく震災時避難者数予測式の検証	池田 楓 竹下 康平 緒方 涼介 小川 稔弘 古賀 達大 佐々木 竜海 樋口 雄大 鈴木 俊介 高橋 隆彰
防災水工学	福谷 陽	横須賀市沖を対象とした再現期間別津波高の確率論的推測 段波による土砂流出量に植生被覆が与える影響に関する水理実験	奥村 颯太 松永 龍之助 南野 貴之
耐震構造学	北原 武嗣	3径間連続斜張橋の長周期地震時挙動に関する検討 東北地方太平洋沖地震によるゴム支承破断に関する解析的検討 ゴム支承の経年劣化が橋梁全体系の耐震性能に与える影響	岩瀬 駿 田中 勝大 牛田 優希 宮内 光 遠藤 洸佑 後野 七海

〔建築・環境学部 建築・環境学科〕

コース	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
建 築 デ ザ イ ン コ ー ス	粕谷 淳司	巢みか 生活から選択する働き方 まちの玄関口 ～まちに寄り添った駅と駅前広場～	江川 冴 平尾 優衣
	黒田 泰介	アトリエ ギャラリーの複合型施設の設計 旧野外活動センターの再生	谷崎 弘斗
	古賀 紀江	TRICK ARENA tricking 練習施設における設計 居室空間の構成要素に関する研究 「もの」と「色」に着目した居室調査と分析	森田 陸 渡邊 璃菜
	酒谷 粹将	大地の更新 act3 閉鎖ゴルフ場跡地の可能性	加瀬航太郎
	中津 秀之	Urban Passage 歩く 見つける 気づく One place クライנגルテンを中心とした農業教育施設 徳殿公園 一本漏れ日と地元を感じる公園ー	崔 美玲 廣瀬健太郎 若月 星樹
	柳澤 潤	多国籍型居住都市 ～山下埠頭の価値に気づき、築く～ 都市の弧島 海と生きる島で暮らす 屋根とともに海へ 運河の再利用と漁村の再建 渋谷 face ～メディア化する建築～	櫻田 祥吾 高桑 健 南場 恵詞 西岡 憲弘
建 築・都 市 再 生 デ ザ イ ン コ ー ス	黒田 泰介	ものの記憶 ことの継承 ～西崎邸のリノベーション～ 十二所の歴史を巡る 『食』の中心へ	中川 拓巳 永野 栄実 安本 直樹
	古賀 紀江	活動場所と人のつながりから捉える個人の環境 ーアイドル好きな大学生の特徴に着目した検討ー	大澤駿一郎
	柳澤 潤	祭暮伝承 祭りと暮らす街 伝統文化の継承	山口 恭佑

コース	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
す ま い デ ザ イ ン コ ー ス	粕谷 淳司	道一演劇場 みなとみらいにおける新しい演劇場の提案 50%建築 平時と有事で可変する防災拠点 空き地建築群 ～コインパーキングに作られる外部空間～ 街中のあぜ道 まちの自由席 新たな町の境界に記憶の可視化を施して 暮らしをひらく 併用住宅による団地コミュニティの活性化 雫から生まれる場所 ～新しい空港ラウンジの提案～ 名もなき空間 新時代の場 近いようで遠い人と物、人與人 トランクルームを併設した集合住宅 鎌倉らしさ 御成通り商店街における宿泊施設の提案 コンカレント・ガーデン 細分化されていく敷地への提案	阿部 華奈 伊藤 暖 今井 菜月 大崎 雅也 小林 磨奈 齋藤 晴菜 佐藤裕紀子 田中 亮 手塚 峻介 堀場 成美 三橋 葵 藤原 翔大
	古賀 紀江	こども農園 住宅地の屋外環境の利用に関する研究 -「家庭菜園」をキーワードにした新聞記事分析からの検討-	高田佑太郎 林 純平
	酒谷 稔将	超狭小住宅群 シェアの時代の所有するすまい 団地オフィス 新しい暮らしとオフィスの在り方 PLAT HOME 駅と街を結ぶインターフェースの設計	石崎 大誠 織田 尚人 福間 新
	中津 秀之	めぐる ～時・空間・そして人生～ 神社の参拝動線における神木の存在意義に関する研究	寺田 滯羅 渡部 和真
	柳澤 潤	都市のはぐくみ みなとみらいにおける子育てと働き方の在り方 音楽在住都市 音楽と共にある環境 地域の食卓 金沢八景における食育をテーマとした地域施設 つどいば - 世代間交流の場となる集合型住宅 - Another Pride House 多様な価値観と共存する為の建築 私層 中継都市 通過するだけの人工島を都市化 人間の還る場所 Accumulation School ～知識を吸収し発信する学校～ 溪谷のクアオルト 自然治癒の中での共存の試論	猪狩 蓮太 池田 花佳 内田愛紗美 小川 紗代 木村友梨香 田端絵理佳 長谷川将馬 牧迫 俊希 村田 朱梨 和田健太郎

コース	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名		
環境共生 デザイン コース	大塚 雅之	ALC鉄骨造の低層住宅に適用する排水システムの排水性能評価に関する研究 節水形大便器の排水横管内における器具排水特性と搬送性能のシミュレーション 手法に関する研究 -管径変化と部材改善による効果-	石井方奈子 城内 柁人		
		節水形大便器の排水パターン変化による搬送性能の向上の可能性	大泉 広樹		
		戸建住宅の排水横管における節水形大便器の簡易搬送性能予測手法の提案	宇野 楓		
		節水形連立小便器の尿石付着抑制に関する研究 -尿石付着の抑制に関する前洗 浄効果の検討-	花島 輝哉		
		介護施設等に設置する紙オムツ破砕処理システムの開発 -その1 排水横管での排水性能評価と検討-	千葉 悠		
		高層集合住宅ストックにおける雑排水立て管システムの改修に関する研究 -その3 既存浴室排水横枝管の改修と排水性能評価-	山本 陽也		
		高層集合住宅ストックにおける雑排水立て管システムの改修に関する研究 -その4 洗濯排水の排水能力への影響-	安藤 大智		
		オフィスビルに適応する簡易横枝排水システムの計画計画設計手法に関する研究 -その1 排水システムの排水能力の把握-	福田 健太		
		オフィスビルに適応する簡易横枝通気排水システムの計画設計手法に関する研究 -その2 排水システムの設計法への展開-	塚田 敬太		
		集中豪雨に対応した雨水排水システムの提案と性能評価に関する研究	茶木 晶絵		
		可動式排出機構を有する節水形大便器の非常時における排出・搬送性能の検討	川越 隼人		
		環境共生 デザイン コース	遠藤 智行	ニューラルネットワークによる異なる建物形状における風圧係数分布の予測に関 する研究	磯村 司
住宅における開口部の開放パターンが室内温熱環境に及ぼす影響に関する研究	寺田 碧衣				
異なるタイプのダブルスキンにおける季節ごとの室内温熱環境の基礎的検討	長谷川晃希				
エアカーテン設置による分煙空間内空気環境に関する研究	大野 優真				
縦旋回流型換気システムにおける給気口増加による効果の検討	村松 宏紀				
床吹出空調システムによる座席周辺でのPIV手法を用いた気流性状測定	青木 文哉				
ATP測定法による空調フィルター清掃効果の実態調査	大槻 朱音				
垂直放射空調システムが室内温熱環境に及ぼす影響とその有用性に関する研究	島袋 重也				
水平・垂直併用型天井放射空調システムの垂直パネル間の距離変化による快適性 の検討	永澤 真奈				
粒子画像流速測定法 (PIV) における画像処理手法に関する研究	石原 麻衣				
環境共生 デザイン コース	山口 温			建築・環境棟における環境教育に関する研究-環境調整技術の認知度と理解度の 実態調査-	新垣 壮始
				高齢者の住宅改修と環境改善に関する実態調査	村田祐次郎
		建築・環境棟の光環境に関する研究 -その1 異なる環境調整技術を持つ室の光環境実測及び明るさ感評価-	山口 良弥		
		建築・環境棟の光環境に関する研究 -その2 大空間製図室の光環境実測と明るさ感評価-	望月 司		
		昼光利用における窓面の輝度頻出及び明るさ感評価に関する研究	杉山 亮太		
		光源と内装材の違いによる空間の評価	清水 雄司		
		大学施設における開口部の異なる2室の室内温熱環境に関する研究 その1 室形状と空調機器が温熱環境に与える影響	宮田 翔平		
		大学施設における開口部の異なる2室の室内温熱環境に関する研究 その2 温度分布の不均一と快適性への影響	永長 佑樹		
		保育施設の建物形態の違いによる熱負荷特性に関する研究	田中 徹		
		ZEH実証建物を事例とした室内温熱環境と熱負荷の検討	村尾 俊輔		
		環境共生 デザイン コース	中村 秀親	神奈川県文化財における防災設備の実態に関する調査	加藤 廉也
				電気設備の劣化に関する調査	河野 和希
新築建築物の負荷密度変動に関する調査	江黒 一穂				

コース	指導教員	研 究 テ ー マ	氏 名
建築エンジニアリングコース 建築材料・施工コース	李 祥準	ドローンによる建物劣化診断の手法開発に関する研究 既存住宅の流通活性化のための現状調査 韓国の賃貸住宅管理業に関する基礎研究 公開情報による公共施設マネジメント 政令指定都市を対象に 公共施設再編のための取り組みと現状の比較 廃校リニューアル50選についての追跡調査	岩崎 拓郎 小澤 智也 豊田 千颯 馬場由紀菜 宮野 玲菜 望月 真名 辻 隆雅
	中島 正夫	弁柄、柿渋の防腐性能および目視による腐朽判定と強度との関係 文化財建造物における近年の生物劣化被害の調査分析	高木 響平 渡邊 琴江
建築エンジニアリングコース 建築構造サブコース	神戸 渡	細長比を変化させた正方形断面の単板積層材を用いた圧縮試験 弾性座屈強度の評価 損傷を受けた筋かい耐力壁の金物を用いた補修方法に関する実験的研究 細長比を変化させた正方形断面の集成材を用いた圧縮試験 木造フラードームを構成するユニットを用いた実験的研究	犬塚 美佳 馬川 昌大 角田 貫太 小澤 奎太 和田 七海 園田 一樹
	高島 英幸	K県本庁舎の構造解析モデルの改訂と静的構造挙動の分析 白川郷旧中野義盛家の合掌材交差部剛性の影響を考慮した振動固有値解析 旧華頂宮邸の解析モデルの再考と接合部条件を考慮した静的構造解析 円覚寺舍利殿の弾塑性構造挙動及び耐力に関する基礎的分析 横須賀市をはじめとする神奈川県南部の防災情報の纏め方の一例 -ハザードマップの構成案と単純な避難シミュレーション例 遺伝子的アルゴリズムを用いた樹木状柱の形態創生手法の提案	小林 海斗 小林 公宗 鈴木 風雅 塚田 秀朗 望月 夏実 唐 炳杰
	渡部 洋	アラミド繊維及びポリウレタ樹脂を用いた鉄筋コンクリート造部分架構における コンクリートの 剥落抑制効果 関東学院大学金沢八景キャンパス5号館における振動特性-応答スペクトルを用いた検討 関東学院大学金沢八景キャンパス5号館における振動特性-震央方位を考慮した検討	井出 絢平 小澤 武蔵 千葉 香穂 福山新太郎

大学院工学研究科修士論文概要集
理工学部／建築・環境学部卒業論文題目集

2020年3月1日 印刷・発行

発行 関東学院大学理工／建築・環境学会
〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1
TEL：045-786-7096
FAX：045-786-7098

印刷 株式会社ポートサイド印刷
TEL：045-252-2711
FAX：045-251-8501
