2021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

関東学院大学理工／建築・環境学会

2021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

●マイクロブラスト加工における加工断面形状の高精度制御 ……高　田　幹　斉……2
●ループヒートパイプの起動特性 ……竹之内　乾　也……4
●プレート型再生器を有する吸収サイクルの気液分離・分縮特性 ……冨　樫　　魁……6
●小径穴における高効率ドリル加工 ……松　林　雄　希……8
●軌道盤転走面へのマイクロディンプル付与によるスラストころ軸受の耐焼付き性能向上 ……于　　崇　洲……10
●$Pna2_1$-$(In_xM_{1-x})_2O_3$(M=Al,Ga) の弾性定数、圧電定数および誘電率の第一原理計算 ……長谷川　　諄……12
●$Pna2_1$-$(Sc_xM_{1-x})_2O_3$(M=Al,Ga) の格子定数、弾性定数および圧電定数の第一原理計算 ……北　原　智　輝……14
●局所運動後における立位姿勢動揺の回復経過 ……佐　藤　　寛……16
●SRC造建築物における地震観測と耐震診断結果の併用による構造健全性の評価に関する一考察 ……井　上　　静……18
●ALC中層集合住宅に適用する多口管継手排水システムの開発と排水能力評価 ……石　井　方奈子……20
●住み手の嗜好を反映するL字型住戸ユニットにより構成される集合住宅の設計 ……伊　藤　　暖……22
●割裂破壊を伴う集成材梁接合部の抵抗メカニズムの分析 ……馬　川　昌　大……24
－鋼板挿入型ドリフトピン接合の場合－
●鉄筋コンクリート造柱梁接合部の破壊性状に及ぼす柱梁強度比の影響 ……小　澤　武　蔵……26
●昭和初期のSRC造K県本庁舎の構造解析モデルの検証と水平耐力の分析 ……小　林　海　斗……28
●旧中野義盛家を対象とした合掌造りの構造解析モデルの検証 ……小　林　公　宗……30
－壁要素を考慮した振動固有値解析－
●現代における野菜直売所のデザイン ……高　桑　　健……32
－神奈川県三浦市に点在する野菜直売所の構成と意識調査を通して－
●高速道路サービスエリアにおける新たなデザインの創造（設計を主とする）……田　中　　亮……34
●鉄筋コンクリート造建築物における地震観測から得られる周期を用いた構造特性の推定 ……千　葉　香　穂……36
●円覚寺舎利殿の振動固有値解析及び弾塑性構造挙動の分析 ……塚　田　秀　朗……38
●遺伝的アルゴリズムを用いた樹木状柱の形態創生 ……TANG BINGJIE……40
－構造解析結果の評価関数への反映－
●現代建築にみる「奥」という概念の再解釈と提案 ……西　岡　憲　弘……42
－原宿・表参道における「奥」を用いた複合建築の設計－
●建築デザインにおける素材との対話を通したアブダクションの創造的プロセス ……福　間　　新……44
●建物の中間領域が室内温熱環境と熱負荷に与える影響 ……村　尾　俊　輔……46
●ハザード評価における地盤情報の補間手法の検討 ……斉　藤　正　昂……48
●動的貫入試験における水圧応答を用いた地下水位の簡易推定法 ……高　野　龍　仁……50
●貫入試験装置の先端に内装した圧力計の間隙水圧応答に関する実験的研究 ……安　田　　承……52

●動的貫入試験における応答波形を用いたせん断剛性低下率の推定法 ……山　田　伊　織……54
●噴流装置を用いた高速電気めっき ……秋　澤　英　里……56
●竹炭CNT混合薄膜を導電補助材基板としたSi負極材料と金属錯体を有する …板　倉　　誠……58
層状MnO_2を用いた可視光応答性蓄電デバイスの創製研究
●ウルトラファインバブル低濃度オゾン水によるABS樹脂への表面改質 ……ＷＡＮＧ　ＣＨＩ……60
●ジメチルスルホンを溶媒として使用したアルミニウム電析への ……笹　野　椋　子……62
第四級アンモニウム塩微量添加
●乳酸菌由来ペプチドグリカンの構成アミノ酸とサイトカイン誘導活性との関連性 …野　口　　翔……64
●マイクロ波照射下でのカルボン酸のエステル化反応における触媒検討 ……松　田　康　佑……66
●深層学習を用いた昇華転写プリントの色補正システムの開発 ……佐　藤　宏　樹……68

卒業論文題目

理工学部理工学科生命学系 ……72
理工学部理工学科数物学系 ……74
理工学部理工学科化学学系 ……75
理工学部理工学科機械学系 ……77
理工学部理工学科電気学系 ……79
理工学部理工学科情報学系 ……81
理工学部理工学科土木学系 ……83
建築・環境学部建築・環境学科 ……85

大学院工学研究科

修　士　論　文　概　要

（2022年 3 月修了）

マイクロブラスト加工における加工断面形状の高精度制御

機械工学専攻　高田　幹斉
指導教授　柳生　裕聖

1　はじめに

マイクロブラスト加工はフラットパネルディスプレイの製造工程などにおいて，ガラス基板などの脆性材料の加工法として応用されている[1)]。この加工法は粒子径が数十 μm 程度の微粒砥粒を投射材として高速で被加工物に噴射し，材料を摩耗または破壊する加工法である。またガラス基板上にフォトリソグラフィ加工を用いて微細な開口部を有するマスクパターンを作製することにより，基板に微細な溝や穴を加工することができる。しかし，ブラスト加工により加工された溝の断面形状はV字型となり，加工形状の制御が困難である。

ブラスト加工により加工された溝の断面形状は V 字型となることが明らかになっている[2)]。しかし，加工物の用途によっては V 字型では対応できない場合があり，加工形状を制御する加工法を検討する必要がある。

本研究ではブラスト加工の加工形状を制御する方法として，(1) マスク材の温度制御，(2) ノズル傾斜角の制御を検討した。本概要ではマスク材の温度制御について報告する。

2　実験内容

2.1　実験材料

マスク材はブラスト加工用ネガ型ドライフィルムレジスト（三菱製紙，MS7050，厚さ 50μm）を使用した。図1に露光（30mJ / cm²）したマスク材の動的粘弾性特性（周波数 10Hz，温度範囲-100～200°C，動的ひずみ 0.03%）の測定結果を示す。マスク材の損失弾性率 E''と損失正接（tanδ）のピーク温度は-10℃と80℃であることが確認された。また，基板はソーダライムガラス（松浪硝子，S1225，26×76mm）を使用した。

2.2　マイクロブラスト加工

フォトリソグラフィ加工によりガラス基板上にラインパターンマスク（L/S200μm）を形成しマスク付ガラス基板を作製した。ガラス基板にドライフィルムレジストを貼り付け，ラインパターンマスクの上からマスクアライナを用いて紫外線を露光（30mJ/cm²）した。さらに現像液（0.2%炭酸ナトリウム）を用いて現像（90s）し，純水で水洗した。

図2にマイクロブラスト加工用温度制御システムの概略を示す。温度制御システムは，ポリイミド製フィルムヒータ（ジコー，PIFH-TC，200mm×100mm），アルミ板（厚さ 1mm），K 型熱電対，サーモスタットで構成されており，フィルムヒータを 2 枚のアルミ板で挟み，表面をゴムシートで保護した。

温度制御システムはマイクロブラスト装置内に設置し，マスク付ガラス基板に投射材（Al_2O_3，平均粒子径 25μm）を圧力 0.3MPa，ノズル直径 0.8mm，ノズルの走査速度 1000mm/min，移動ステップ 5mm，ノズルと基板の距離 90mm で投射し，マスク開口部のガラス基板を加工した。なお，本研究ではマイクロブラスト加工における 1 回の加工回数を「1pass」と表し，加工温度は加工中に熱電対で計測された温度とした。

2.3　評価方法

加工したマスク材の摩耗量は，ガラス基板とマスク材の高さの段差を触針式表面粗さ計（東京精密，サーフコム 480A）を用いて測定した。ガラス基板上に加工されたラインパターンの断面形状は，共焦点レーザー顕微鏡（キーエンス，VK-8500）を用いて測定した。

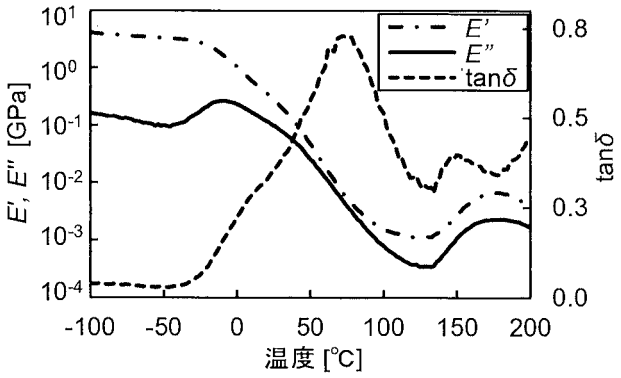


図1　マスク材の動的粘弾性特性の温度依存性
（貯蔵弾性率 E'，損失弾性率 E''，損失正接 tanδ）

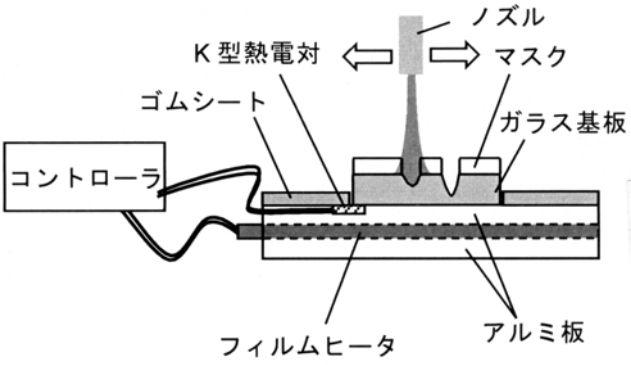


図2　マイクロブラスト加工の温度制御システム

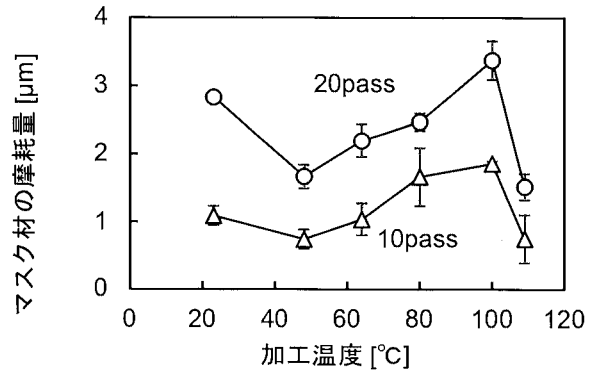


図 3　マスク材の摩耗量と加工温度の関係

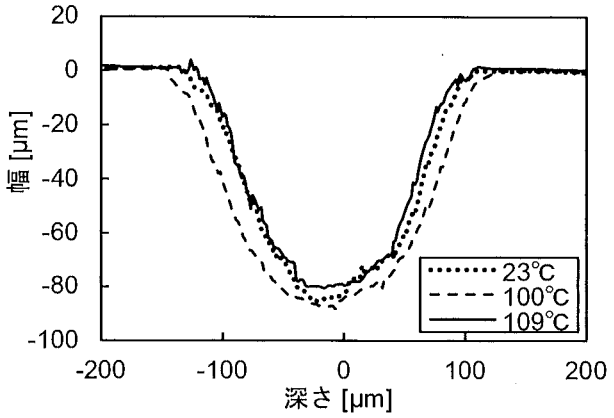


図 4　マイクロブラスト加工による加工溝の断面形状
（ラインパターンマスク L/S200μm）

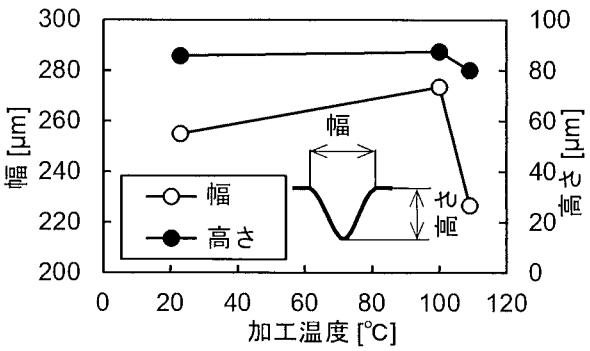


図 5　加工幅，加工深さと加工温度の関係

3　実験結果

図 3 にマイクロブラスト加工によるマスク材の摩耗量と加工温度の関係を示す。マスクの摩耗量は加工温度 100℃で最大となることが確認できる。加工温度は図 2 に示す温度センサにより測定した温度であり，マスク材の温度ではないため，最大摩耗量を示す加工温度は動的粘弾性特性の tanδ のピーク温度よりも僅かに小さな値となったと考えられる。

図 1 において，マスク材の粘性を示す E''は，温度 50℃付近から低下しているため加工温度が 50℃のとき摩耗量が減少したものと予想される。また，tanδ ピーク温度では反発係数が最小となることが知られており，加工温度 100℃ではマスク材の表面における投射材の反射が減少したため摩耗量が最大となったと考えられる。したがって，図 1 と図 3 より，マスク材の摩耗量は動的粘弾性特性の E''と tanδ に依存し，加工温度の調整により，ガラス基板のラインパターンの加工幅を制御できることが予想できる。

図 4 に加工回数が 10pass，加工温度が 23℃，100℃，109℃のときのガラス基板上に加工された溝の断面形状を示す。マスク材の開口幅に対する横方向へのマスク材の摩耗量が減少するため，ブラスト加工中のマスク材の温度を変更することによって，断面形状が変化することが確認できる。

図 5 にガラス基板上に加工された溝の幅，深さと加工温度の関係を示す。加工溝の幅は加工温度 23℃で 255μm，100℃で 273μm，109℃で 223μm であることが確認できる。加工溝の幅は加工温度 23℃で 255μm，100℃で 273μm，109℃で 223μm であることが確認できる。加工幅の最大の変化量は 50μm（22%）であり，この値は図 3 に示した 10pass におけるマスク材の摩耗量の最大の変化量（1.1μm）よりも大きな値となっている。ブラスト加工による高分子材料の摩耗量は投射材の入射角に依存することが報告されており，入射角が約 25° のとき摩耗量が最大となることが報告されている [3]。したがって，本研究におけるマスク材開口部の側面が傾斜しており，図 3 に示した厚さ方向（入射角 90° ）のマスク材の摩耗量よりも側面の摩耗量が増加したものと考えられる。

以上の結果から，マスク材の温度を変化させることにより，ガラス基板に加工される溝の断面形状を制御できることが明らかとなった。

4　おわりに

汎用マスク材の動的粘弾性特性を考慮したマイクロブラスト加工装置に設置可能な温度制御システムを設計した。マスク材の摩耗量の加工温度依存性を評価した結果，マスク材の摩耗量は加工温度 100℃のとき最大値を示すことが確認された。ガラス基板上のラインパターン加工幅の評価により，マイクロブラスト加工の加工温度の制御により，加工溝の幅を最大 20% 程度変化させることが可能なことが明らかとなった。

参考文献

1) H. Fujii, H. Tanabe, M. Harayama, M. Oka: A Sandblasting Process for Fabrication of Color PDP Phosphor Screens, Society for Information Display International Symposium Digest 92 (1992), pp.728-731.
2) 長瀬徳孝，柳生裕聖：マイクロブラスト加工シミュレーションにおける投射材サイズの影響，第 36 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム，(2019), pp.1-4.
3) J. E. Nielson, A. Gilchrist: Erosion by a Stream of Solid Particles, Wear, 11, (1968), pp.111-122.

ループヒートパイプの起動特性

機械工学専攻　竹之内　乾也
指導教授　辻森　淳

1　序論

リモート会議やオンライン授業などの通信負荷が増加していることや, AI をはじめとする高度な情報処理が求められることから，コンピュータに対する安全性や信頼性，耐久性，利便性の向上が不可欠な状況である。ところが，処理能力向上にともなう CPU 発熱密度の上昇への対応が不十分であり，冷却環境が悪化しているのが現状である。これに対し，現代の主流である空冷却ファンに代わる，筐体放熱可能な冷却技術が強く望まれている。

ところで，近年の宇宙機器においても発熱量増大が顕著であり，メンテナンスフリーを実現できる冷却技術が要求されており，多孔質体に液が浸透した際に毛細管内の気液界面に発生する毛細管力を利用して熱輸送をおこなう，キャピラリポンプの原理を応用したループヒートパイプ（Loop Heat Pipe，以下 LHP）の研究，開発，実証実験が盛んである [1]。

LHP は, 毛細管力を発生させる多孔質ウイックを内包しヒートシンクの機能を有する蒸発器，冷媒蒸気が通る蒸気管，輸送した熱を外部に放出する凝縮器，凝縮過程で過冷却状態となった液冷媒が通る液管から構成されている。この構成により LHP は，機械駆動部を持たず大容量の熱輸送をおこなえ，液相と気相が別のルートで流動することによる圧力損失の低減と，それにともなう柔軟な排熱パス設計性を有する。その結果，高信頼性の冷却デバイスとして，地上での応用展開が期待されている。

しかし LHP は重力場での使用を想定した場合，トップヒートや熱負荷変動状態での安定動作および起動に対する知見が十分でない [2]。特に，起動時の不安定動作が実用化への大きな障壁となっている。そこで本研究では，LHP の起動特性を把握し，不安定性を解消する方法を検討することを目的とする。

2　LHP 可視化実験

本実験ではまず，起動時（再起動を含む）の蒸発器の熱伝達特性を調べた。同時に，蒸発器リザーバ内を可視化し，熱負荷停止後および再負荷時の様子を観察した。実験条件を**表 1** に，ポリカーボネート製の蓋部により可視化した蒸発器の概略を**図 1** に示す。実験では，可視化に際し安全性の観点から低圧フロンである HFC245fa を用いた。毛細管力を発生させるウイックは，3 次元ポーラスカーボンで毛細管径は 5μm である。**図 2** に再起動実験結果より，停止時間が蒸発熱伝達率におよぼす影響を示す。図 2 中の各秒数は熱入力停止時間であり，0s～60s は蒸発器熱容量によって熱輸送ループが維持された状態中である。180s は熱輸送ループ停止を確認後直ちに再熱入力したものであり，300s～600s は熱輸送ループ停止を確認後も熱入力停止を継続したものである。なお，本実験は可視化 LHP が定常熱輸送状態に達してから，各停止時間条件における再起動実験を連続的におこなった。

LHP は, 多孔質ウイック内に形成される気液界面に生ずる毛管圧力差を推進力として動作する。気液界面の位置は，起動時のわずかな条件の差異の影響を受けて多孔質ウイック内で上下し，これにより蒸発熱伝達率の変化することになる。実験結果より，再起動時間が蒸発熱伝達特性におよぼす影響は小さく，1020～1400W/m^{2}K 程度となった。

表 1　可視化 LHP 再起動実験条件

冷媒	HFC245fa
ウイック材質	ポーラスカーボン
ウイック仕様	60mm×60mm×8mm
蒸発器蓋部材質	ポリカーボネート
蒸発器伝熱部材質	SUS304
熱流束	4400W/m^2

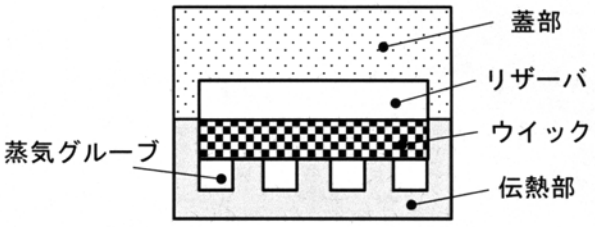


図 1　可視化 LHP 蒸発器概略

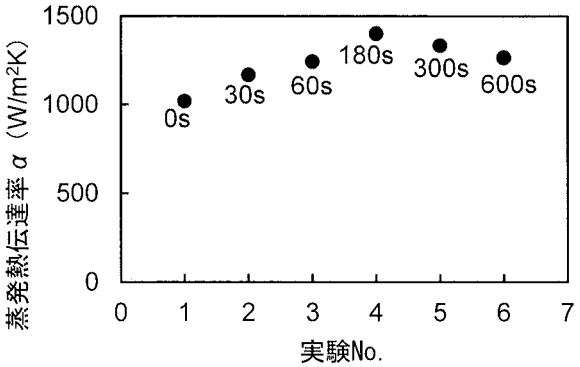
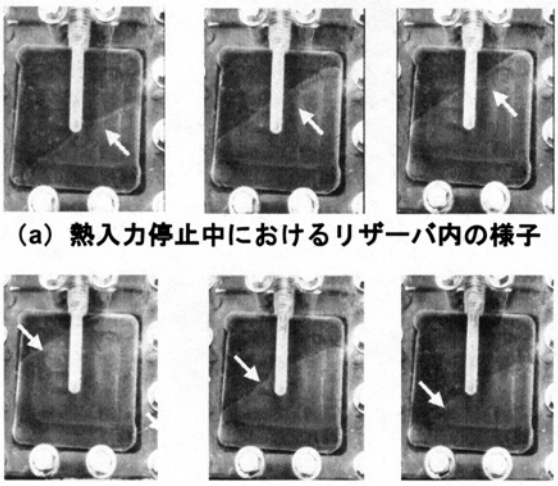


図 2　可視化 LHP 再起動実験における蒸発熱伝達率



（a）熱入力停止中におけるリザーバ内の様子

（b）再起動成功後におけるリザーバ内の様子

図 3　再起動前後におけるリザーバ内液量の変化

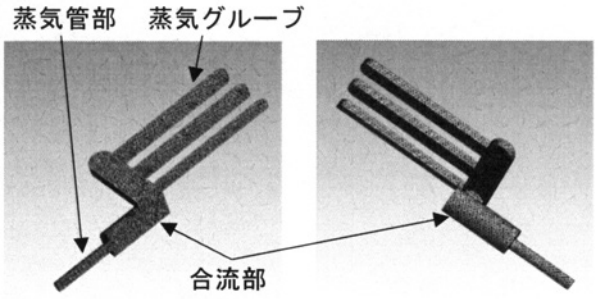
次に，**図 3** は再起動前後におけるリザーバ内液量の変化の様子を示す。観察の結果，熱負荷停止後は，蒸発器の熱容量に応じた非定常残存熱負荷の影響を受け，リザーバ内液量が徐々に減少することが分かった。再度，熱負荷を加えた際には，少量でも液冷媒がリザーバ内に残存していれば LHP は再起動し，急激にリザーバ内に液冷媒が戻り，安定的な再起動が可能であった。ところが，長時間の熱入力停止によりリザーバ内液量が失われると，LHP は起動しなかった。

3　ANSYS Fluent を用いた流動解析

図 3（a）のような熱負荷停止時の液冷媒量減少は，蒸発器熱容量の大きさにともなう相対的なリザーバ内圧力の上昇に起因し，リザーバ内液冷媒が重力の影響を受けてウイック下部の蒸気グルーブへ流出したために生じたと考えられる。蒸気グルーブが液冷媒で満たされると毛細管力が発生しなくなるため LHP は動作しない。したがって，再起動を成功させるためには，蒸気グルーブに滞留した液冷媒が，再び熱負荷を与えた際に蒸発または流出し，ウイック内に気液界面が再形成される必要がある。そこで，ANSYS Fluent を用いて流動解析をおこない，再熱入力時における液冷媒の非定常の蒸発過程と気液の挙動を調べた。

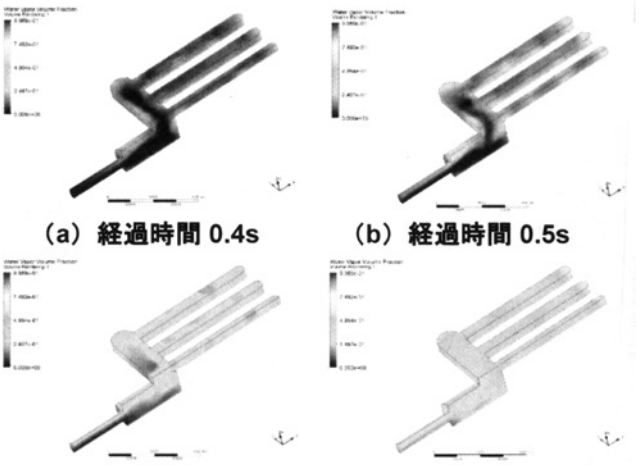
図 4 にメッシング済み解析対象を示す。蒸気グルーブモデルは実験装置と同じ仕様である。解析結果より，**図 5** に液に対する蒸気の体積分率変化を示す。なお，図において濃色ほど液の割合が高い状態である。計算に使用した作動媒体は熱物性値が既知の H_2O とし，熱流束は伝熱部接触面に対して一様に加えた。

計算結果より，蒸気割合が大きくなるにともない過熱蒸気が蒸気グルーブ上部へと徐々に拡大し，同時に蒸気圧により蒸気グルーブ内に滞留する液を合流部から蒸気管に流出させている様子が確認できた。また，本計算条件においては，蒸気グルーブで発生した二相流は密度の違いと流速の影響を受けて分離流となり，蒸気管への流出時には上部が蒸気層，下部が液層の状態になることもわかった。



（a）俯瞰図①　　（b）俯瞰図②

図 4　メッシング済み解析対象



（a）経過時間 0.4s　　（b）経過時間 0.5s

（c）経過時間 0.7s　　（d）経過時間 0.9s

図 5　任意経過時間における冷媒挙動

計算結果の妥当性を調べるために，実験による検証をおこなった結果，同様の設定条件において，上部が蒸気層，下部が液層の状態で蒸発器から蒸気管へと流出する様子が観察され，解析結果と定性的に一致していることが確認できた。

4　結論

本研究では，LHP の起動特性を把握するために，リザーバ内可視化実験と，蒸気グルーブの非定常流動解析をおこなった結果，以下のことがわかった。

1）　LHP 起動の可否にはリザーバ内液量が重要な因子である。
2）　蒸気グルーブに滞留した液の蒸発過程および気液二相流を成した流動過程を定性的に把握した。

参考文献

1）　勝田正文：宇宙用キャピラリーポンプループ（CPL）に関する研究，日本機械学会論文集（B 編）66 巻 645 号，(1996-5)，pp.351-357.
2）　竹之内乾也，辻森淳，浅田夢夏，小池聖也，神保廣明：毛管径分布を考慮したループヒートパイプの熱輸送特性，日本設計工学会春季研究発表講演会，(2019-5)，pp.109-110.

プレート型再生器を有する吸収サイクルの気液分離・分縮特性

機械工学専攻　冨樫　魁
指導教授　辻森　淳

1　はじめに

コロナ禍においては，テレワークなどこれまでの固定オフィスの概念とは異なる形態のワークスペースが増え，空調負荷が分散かつ増大している。また，交通手段においても，公共交通機関からマイカー通勤への移行も拡大しており，通勤から勤務まで全体として空調が個別化そして負荷が増大している。ところが，空調機器の多くが電力に頼る蒸気圧縮式冷凍法を用いており，電力消費量の削減が課題となっている。

本研究が対象としている吸収冷凍サイクルは，熱駆動冷熱機器であるため，環境負荷低減にも大きく貢献できると考えられる[1]。しかしながら，吸収冷凍機は，設置容積が大きい，そして起動が遅いという欠点があり，特に車両用空調を対象とした場合には導入に対する障壁となっている。そこで，本研究では，吸収冷凍サイクルの起動特性の改善と設置容積の低減を検討するために，再生器のプレート化および分縮型気液分離器の特性を把握することを目的とする。

2　実験装置および方法

2.1　実験装置

図 1 に実験装置概略図，**図 2** に分縮型気液分離器を示す。実験装置は，プレート型再生器，分縮器を内蔵した気液分離器，凝縮器，吸収器，溶液ポンプ，熱源，冷却水循環装置から構成されている。

この装置により，吸収器に封入された溶液は溶液ポンプにより再生器に圧送されたのち外部熱源により加熱され，吸収溶液から冷媒蒸気が再生する。そのため，再生器出口では気液二相流となる。そこで，再生器出口に気液分離器を設置し，溶液と冷媒蒸気を分離する。同時に，内蔵された分縮器により冷媒蒸気を冷却し，蒸気濃度を上昇させる。溶液は吸収器に還流し，冷媒蒸気は凝縮器にて外部冷却され液冷媒となった後，吸収器に流入する。本研究で新たに開発した気液分離器は，60mm×60mm×150mm で，内部にらせん状の分縮器を設置し，前面を耐薬品性のあるポリカーボネートで製作することにより，気液分離器内部の気液二相流の流動の様子を観察した。

2.2　実験方法

表 1 に実験条件を示す。本実験は，冷却水温度 20℃一定下で吸収器と凝縮器を冷却し，再生器への熱負荷を変化させ，プレート型再生器の起動特性および，気液分離器の分離特性を観察した。なお，再生器の熱源としては温水を用い，約 60，70℃と条件を変え実験した。使用した吸収作動媒体は，次世代吸収作動媒体とし注目されるアルコール冷媒の TFE/NMP 系を用い，7：3 の割合の 2 成分系である。また，分縮器の性能を把握するために，冷却水流量を変化させ，分縮特性に与える影響を調べた。

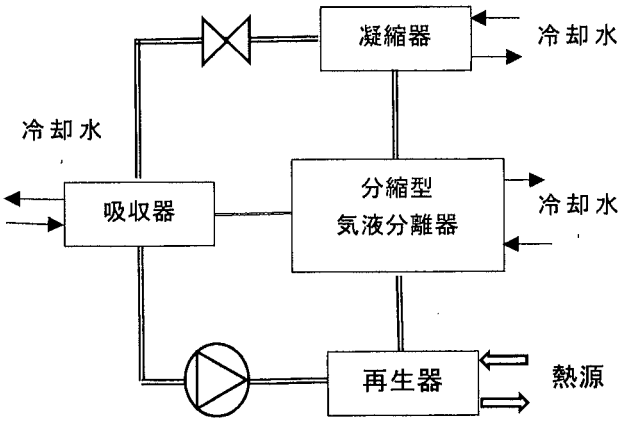


図 1　実験装置概略図

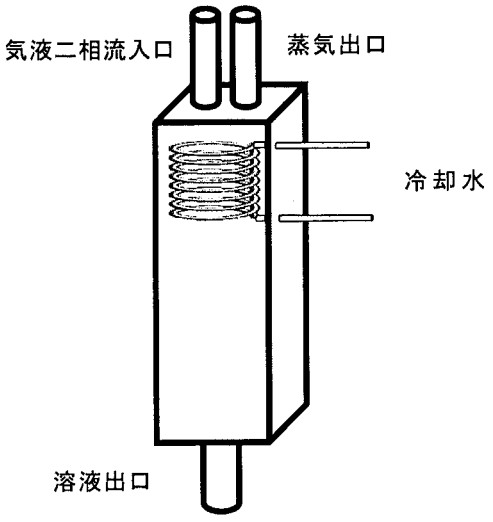


図 2　気液分離器

表 1　実験条件

凝縮器，吸収器，分縮器 冷却水温度（℃）	20
分縮器の冷却水流量（g/s）	1.1～3.4
熱源温度（℃）	60，70
熱流束（W/m²）	7640～13800
作動媒体/吸収剤	TFE/ NMP
気液分離器仕様（mm）	60×60×150

3　実験結果

3.1　プレート型再生器の起動特性

図 3 に，本供試実験装置での起動特性を示す。図より，熱源温度，溶液温度とも起動後 30 秒程度で急激に温度上昇し，その後は緩やかに変化しながら，起動後 6 分程度で定常状態に達している。シェル&チューブ型熱交換器を再生器として用いた場合，起動に 15 分要したことを考えると，大幅な起動特性の改善に成功したといえる。

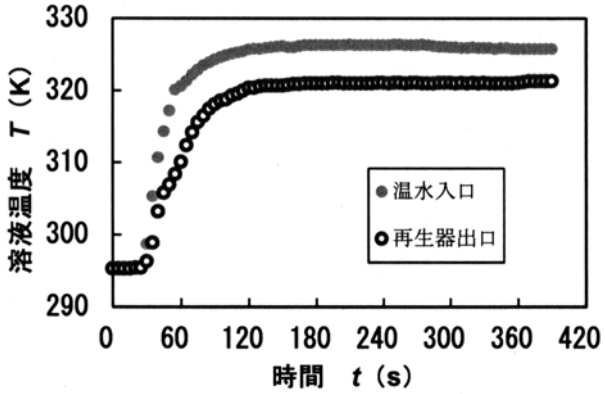


図 3　再生器の起動特性

3.2　気液分離器の分離特性

気液分離器内の流動の様子を**図 4** に示す。先行研究で試作した気液分離器は，気液二相流の入口が分縮器側面であったため，溶液が蒸気に同伴する（フラッディング）が観測された。そのため，新たに製作した気液分離器は，気液二相流の入口を分縮器上部に変更し，さらに気液分離器内部に延長管を挿入した。観察の結果，流入する気液二相流は間欠的に流動，すなわち，蒸気の割合が多い箇所と溶液の割合が多い箇所が交互に流入することがわかった。しかしながら，どちらの流動様式においてもフラッディングは生じず，気液二相流を分離することができた。

図 5 に改良型気液分離器の流動解析の結果を示す。解析では，気液二相流を分離流として，気液分離器入口から流入させ，分離の様子を追跡した。解析結果より，本供試気液分離器形状により 80%以上の分離効率を達成できることがわかった。なお，試作した気液分離器では，さらに分縮器による流動の乱れを抑制する効果が付加され，分離特性が向上すると考えられる。

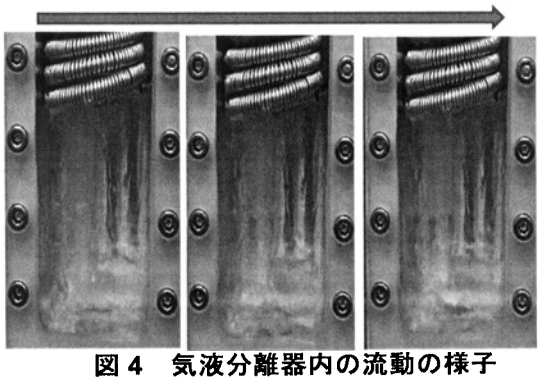
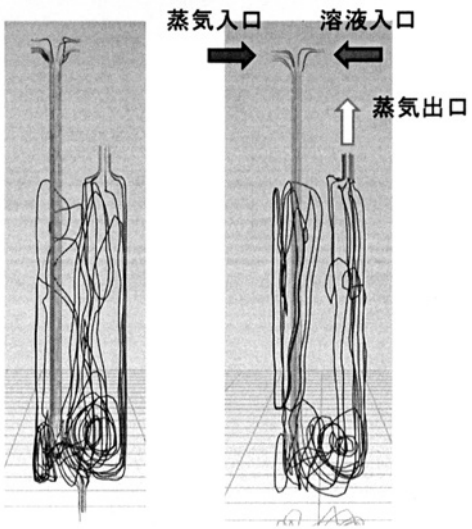


図 4　気液分離器内の流動の様子



(a) 入口設定　　(b) 蒸気出口設定

図 5　改良型気液分離器の流動解析結果

3.3　分縮器特性

次に，分縮器の冷却特性を**図 6** に示す。冷却熱量は設計仕様の 200W より小さな値となったものの，観察の結果からも，冷媒蒸気が分縮されている様子が確認できた。しかしながら，今後は，冷却能力向上のための分縮器形状の見直しを検討する必要がある。

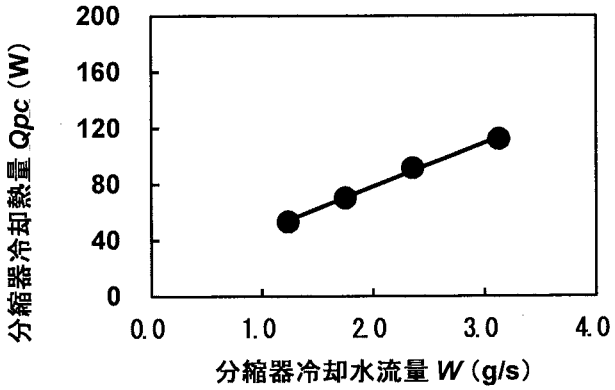


図 6　分縮器の冷却性能

4　おわりに

本研究では，吸収冷凍サイクルの起動特性を改善するために，再生器をプレート化することを検討した。そして，プレート型再生器導入の際に必要となる気液分離器を改良し，特性を把握する実験をおこなった結果，プレート型再生器，気液分離器はともに設計仕様を満たす性能を発揮することがわかった。一方で，分縮器は冷却性能が低く，今後の改良が期待される。

参考文献

1) Kai Togashi, Atsushi Tsujimori, and Reiwa Suzuki: “Absorption Refrigeration Cycle for Automotive Air Conditioning”ICOPE-2021,October 17 - 21, 2021 (Kobe, Japan)

小径穴における高効率ドリル加工

機械工学専攻　松林　雄希
指導教授　内山　光夫

1　緒言

穴あけ加工の中では，ドリルを用いた切削加工が主流である。その中でも高機能小型部品には，小径ドリルによる小径穴加工が用いられている。

小径穴のドリル加工では，加工精度の向上や工具寿命を延長するために切削油の供給が必須である。そのため近年では，ドリル内に設けた穴を通して，液状や霧状の切削油をドリル先端まで圧送するオイルホールドリルを用いた加工法がある。

しかし，これらの加工法では切削油に圧力を付加するための加圧装置が必要であるとともに，切りくずや切削油の飛散が問題となる。また，直径 0.5mm 以下の小径穴ドリル加工においては，オイルホールドリルが製作不可能である。そのため工具メーカは，一般の穴加工においては，図 1 に示すように加工中のドリルを加工穴入口まで頻繁に出し入れし，切削油の供給と切りくずつまりを回避するステップ送り加工を推奨している。

しかし，この加工法では加工時間が長くなるとともに，工具の出し入れによる加工穴内面の表面粗さの低下や工具寿命の減少が問題となっている。

本報告では，切削油の確実な供給と，切りくずや切削油の飛散を回避することを狙いとする。我々は従来の研究から，工具の出し入れが不要なノンステップ送り加工の研究を進めている [1]。ここでは，連続型の切りくずを排出させ，さらにドリル穴入口部に切削油だまりを形成すると，加工穴内部が負圧となり，切削油が自ら加工穴とドリルねじれ溝の間に吸引されていく現象を確認している。

2　研究目的

環境負荷の少ないドリル加工を実現するため，切削油自己吸引方式の点滴給油法を用いて，研究をおこなう。点滴給油方式を適用することで，液体が持つ表面張力によりドリルを回転させた場合にも切削油が飛散しにくくなる。

この点滴給油方式の採用により，加工前に点滴により油だまりを形成することで，加工方向に関係なく加工できると考えられる [2]。そこで，ドリルねじれ角の違いが切削抵抗にどのように影響するか実験により確認し，さらに小径ドリルの最適ねじれ角を求めるために，刃先での切削抵抗とねじれ溝内での切削抵抗について解析をおこなう。また，切削油自己吸引のメカニズムを解明し，最適な切削油供給ができる加工条件を求めるため，負圧測定による切削油の吸引状況を確認する。さらに以上の結果をもとに，下向き，横向き，上向き加工の可能性を確認する。

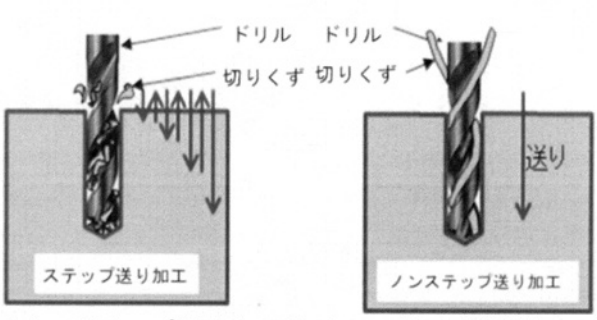


図 1　ステップ送り加工とノンステップ送り加工 [1]

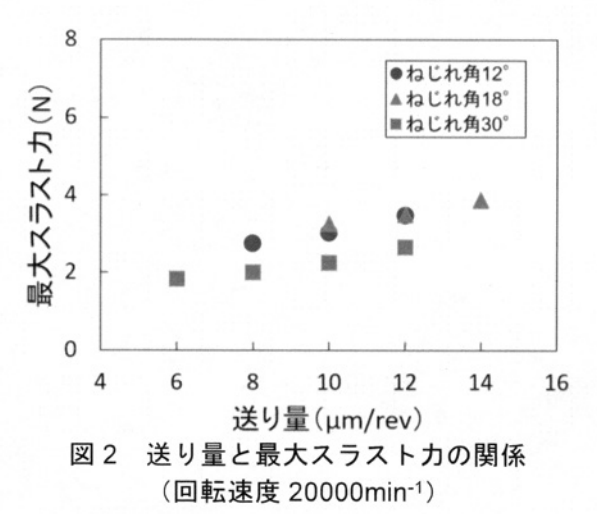


図 2　送り量と最大スラスト力の関係
（回転速度 20000min^{-1}）

3　ドリルねじれ角と切削抵抗の関係

本実験では，ねじれ角 12°，18°，30°のドリルを用いて，回転速度 20000min^{-1}，送り量 6-16μm/rev における加工をおこない，切削抵抗を比較した。図 2 に実験結果を示す。ねじれ角 30°に比べ，12°や 18°は，最大スラスト力が大きくなることがわかる。これは，ねじれ角を小さくしたことですくい角も小さくなり，刃先にかかる抵抗が大きくなったためと考えられる。しかし，最大送り量はねじれ角 18°が最大となった。

4　ドリルの最適ねじれ角の解析

最適ねじれ角を求めるためにドリルのねじれ角を 12°，18°，30°として，C 言語により計算プログラムを作成し，数値解析をおこなった。刃先での切削抵抗は，二次元切削として解析をおこない，実際の切りくず厚さデータを用いて，最大せん断応力説の公式より求め

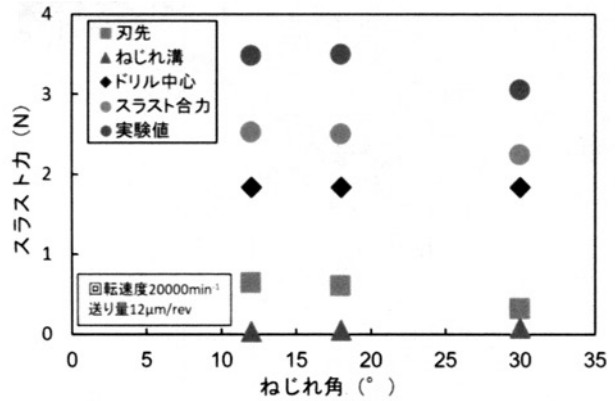


図３　解析結果（刃先，ねじれ溝，ドリル中心）

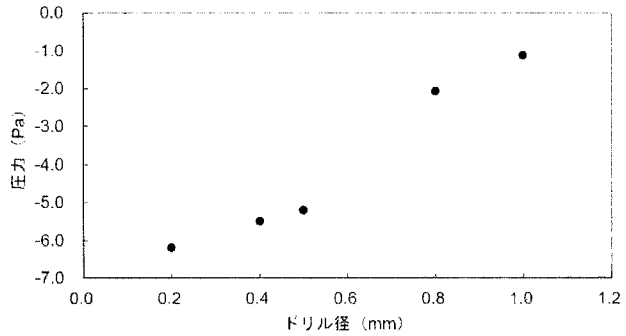


図４　負圧確認における実験結果

た。ねじれ溝内での切削抵抗は，切りくずの厚さ方向のたわみ力を摩擦における垂直抗力として考え，摩擦力として求めた。押込み力は圧痕の水平面単位投影面積あたりの平均押込み圧力から求めた。図３に解析結果を示す。ねじれ角が大きくなるにつれ，ねじれ溝内での切削抵抗が増大し，刃先での切削抵抗が減少することがわかった。しかし，切削抵抗の中では，ドリル中心部の押込み力が最も比重が大きいことがわかった。

5　切削油自己吸引のメカニズム

図３に示した解析結果より，刃先にかかる切削抵抗が大きいことから，ドリル先端に切削油を供給することが必須である。そのため，加工穴内部の圧力を測定することにより，切削油自己吸引の確認実験をおこなった。図４に実験結果を示す。ドリル径 0.2, 0.4, 0.5, 0.8, 1.0mm，切削速度は 14m/min，送り量は６章の下向き加工における連続型切りくずが発生する最大送り量で実験をおこなった結果，全てのドリル径で連続型切りくずを排出させると加工穴内部が負圧になることが確認できた。これは，加工穴入口を密閉し，連続型切りくずを排出することにより，切りくずを排出した加工穴内部に空洞ができるため負圧が発生したと考えられる。

6　下向き，横向き，上向き加工の切削性能

加工方向により連続型切りくずの発生領域を確認するために，ドリル径は 0.2，0.4，0.5，0.8，1.0mm，

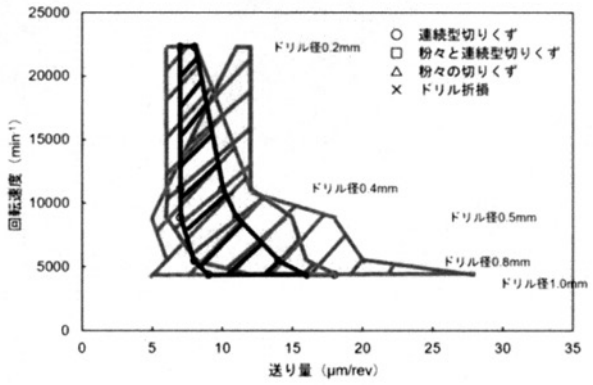


図５　連続型切りくずの発生領域

切削速度は 14m/min として，下向き，横向き，上向き加工で実験をおこなった。図５に実験結果を示す。下向きは緑色，横向きは赤色，上向きは青色で囲った領域が連続型切りくずの発生領域である。ドリル径が大きくなるにつれ，試験片を貫通し，連続型切りくずの発生した最大送り量が，大きくなる傾向があることがわかる。これはドリル径が大きくなることにより，高トルクにもドリルが折損しにくくなり，高い送り量でも加工できると考えられる。また，上向き加工は連続型切りくず発生領域が最も大きい範囲になることがわかる。さらに，連続型切りくずの発生領域の中の最小送り量が最も小さくなることがわかった。これは，下向き，横向き加工と違い上向き加工では切削油保持具を使用したことにより，油だまりを安定して確保できたことが原因だと考えられる。

7　結言

小径ドリル穴の高効率加工の研究では，以下のことがわかった。

(1)　ドリルねじれ角と切削抵抗の関係では，ねじれ角が小さくなるにつれ，刃先の切削抵抗が大きくなる。
(2)　ドリルの最適ねじれ角の解析において，押込み力がねじれ角に関係なく最も比重が大きい。
(3)　負圧の発生により切削油自己吸引がおきていると考えられる。
(4)　下向き，横向き，上向き加工の切削性能においては，油だまりを形成するとどの加工方向において，加工できる。この結果，小径穴の高効率加工に切削油自己吸引が適用できる。

参考文献

1) 内山光夫，坂田尚志，高橋友貴，本間和希：小径ドリルのノンステップ送り加工における切削性能，砥粒加工学会誌，61-8(2017)，pp.438-443.
2) 松林雄希，神子泰康，千葉康太，内山光夫：ノンステップ送り加工における切削油吸引確認，2021 年度精密工学会春季大会

軌道盤転走面へのマイクロディンプル付与による スラストころ軸受の耐焼付き性能向上

機械工学専攻　于　崇洲
指導教授　柳生　裕聖
指導教員　堀田　智哉

1　はじめに

近年，自動車の二酸化炭素排出量増加による地球温暖化が環境問題として取り上げられている。その対策として，省エネルギー化が求められている。そのため，近年では潤滑油の低粘度化がおこなわれ，焼付きが発生しやすくなっている。

焼付き損傷（**図 1**）の要因は，発熱による内部すきまの減少，潤滑油の不足または不適，過大予圧あるいは過大荷重である。

焼付き対策としては以下に示すものが挙げられる [1]。

① 内部すきまの最適化（内部すきまを大きくする）
② 潤滑方法の最適化および潤滑油量の確保
③ ミスアライメントの防止
④ 使用条件の見直し

このうち，潤滑油量の確保の方法として，ディンプルを設けることがある。これは，微細な凹みをしゅう動表面に加工することで潤滑油が中に残り，より多くの潤滑油をしゅう動面に供給することが可能となる。

そこで，本研究ではスラストころ軸受の軌道盤にディンプルを付与し，焼付きまでにかかる時間を測定する。さらに，ディンプルの面積率，直径および深さを変えることにより，ディンプル寸法による効果の違いを明らかにする。

2　実験方法

本実験では，スラストころ軸受 AXK1112 を用いた。軸受の材質は SUJ2，寸法は外径 85 mm，内径は 60mm，幅は 3 mm である（**表 1**）。

また，転動体の個数は 48 個から 3 個に減らした。実験で付与したディンプルの面積率，ディンプルの直径および深さを**表 2** に示す。ディンプルの面積率は 5%，10%および 20%（**図 2**）とした。ディンプルの形状は円形（**図 3**）で，タイリング加工により，軌道盤表面に付与した。

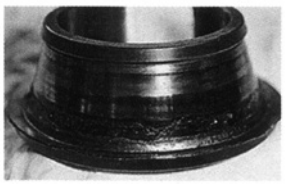
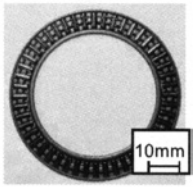


図 1　軸受の内輪における焼付き状態 [2]

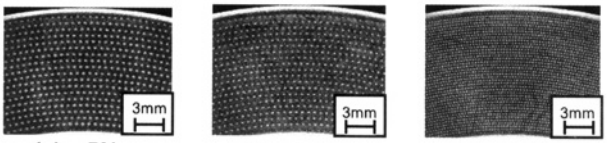
表 1　AXK1112 スラストころ軸受



仕様軸受	AXK1112
材質	SUJ2
外径　D_c（mm）	85
内径　d（mm）	60
幅　T（mm）	3

表 2　ディンプルの種類

試験番号	面積率 A (%)	直径 D (μm)	深さ V (μm)
1	5	140	5
2	10		
3		200	
4			10
5		280	
6			
7			20
8		400	
9			10
10	20	140	5



(a)　5%　　(b)　10%　　(c)　20%

図 2　ディンプルを付与した軌道盤

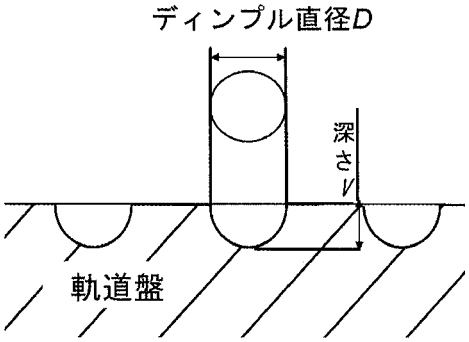


図 3　ディンプルの断面形状

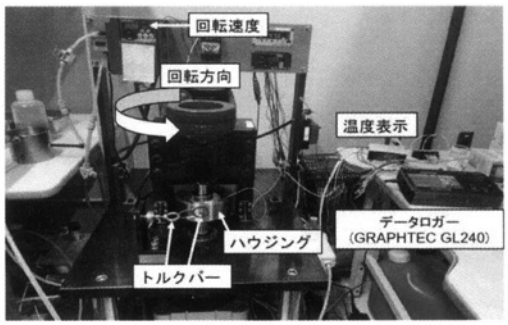


図 4　実験装置

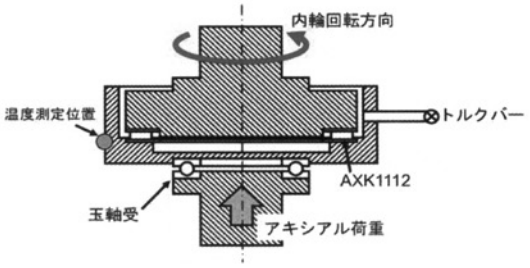


図 5　軸受試験部の概要

図 4 に実験装置および軸受試験部を示す。本試験機はスラストころ軸受をハウジングに設置した。

図 5 は試験部分のみを描いた概要である。装置下部のエアシリンダによりアキシアル荷重を負荷した。ハウジングの外部に熱電対温度計を設置し，回転中の温度を測定した。潤滑油は VG32 を使用し，滴下給油方式（2 滴）とした。回転速度は 500 min^{-1}，アキシアル荷重は 7.4 kN，最大面圧は 3.0 GPa，室温 22±3℃で実験をおこなった。

本実験では，ハウジングの外部が 100℃にいたるまでの時間，あるいは回転トルクが 3.0 N・m にいたるまでの時間のいずれか早い方を焼付くまでの時間とした。

3　実験結果および考察

本実験の結果を**図 6** に示す。縦軸に示した数値は，ディンプルの面積率-ディンプルの直径-ディンプルの深さの順番で示している。エラーバーは，焼付くまでの時間の最大値および最小値である。この結果により，10%-400μm-20μm の焼付くまでにかかる時間が最も長く，約 39 min となった。一方で，20%-140μm-5μm の焼付くまでにかかる時間が最も短く，約 25.6 min となった。ディンプルの直径が 140 μm，深さが 5 μm で，ディンプルの面積率が異なる場合では，面積率が大きいほど，焼付くまでにかかる時間が短くなっている。

また，10%-280μm-10μm および 10%-280μm-20μm，10%-400μm-10μm および 10%-400μm-20μm を比較すると，深さが深いほど，焼付くまでの時間が長くなっている。また，280μm-20μm と 400μm-20μm を比較すると，400 μm の焼付くまでの時間が長くなっている。したがって，直径が大きいほど，焼付くまでにかかる時間が長くなると考えられる。

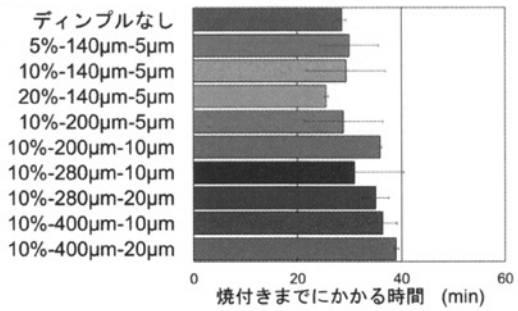


図 6　実験結果

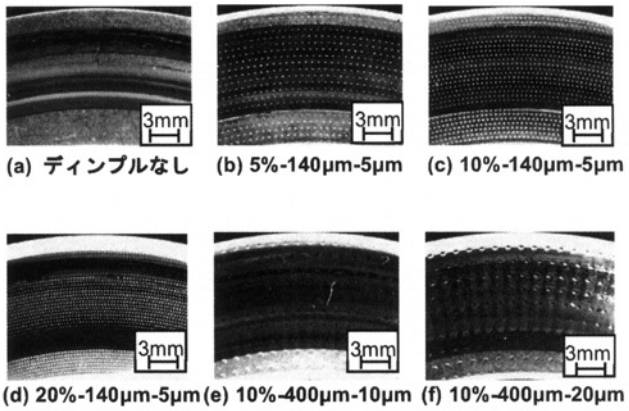


図 7　軌道盤の表面状態

図 7 に軌道盤の表面状態の一部を示す。ディンプルの直径が 140 μm，ディンプルの深さが 5 μm の条件では，ディンプルの面積率が大きいほど，摩耗痕が濃くなっていることがわかる。これは，ディンプルの面積率が上がることで，面圧が高くなり，しゅう動面が強く接触したためだと考えられる。また，ディンプルの面積率が 10%，ディンプルの直径が 400 μm の表面では，ディンプルの深さが深くなるほど，摩耗痕が薄くなっているのが確認できる。このことから，摩擦状態が改善されていると考えられる。

4　おわりに

本研究では，スラストころ軸受（AXK1112）の軌道面にディンプルを付与し，焼付き試験を実施した。その結果を以下にまとめる。

(1) 10%-400μm-20μm の焼付くまでの時間が最も長い。
(2) 20%-140μm-5μm の焼付くまでの時間が最も短い。
(3) ディンプルの面積率と直径が同じ場合には，深さが深いほど，焼付くまでにかかる時間が長い。

参考文献

1) 堀田智哉，野口昭治，矢追和之，下平英二：低トルク円すいころ軸受の開発（ころ大端面にマイクロディンプルを施した場合）設計工学，54-5（2019），pp.326-327.
2) 転がり軸受総合カタログ：軸受の損傷と対策，NTN 株式会社出版，(2020)，p.A-152.

$Pna2_1$-$(In_xM_{1-x})_2O_3$ (M=Al, Ga)の弾性定数、圧電定数および誘電率の第一原理計算

電気工学専攻　長谷川　諄
指導教授　島田　和宏

1　背景

酸化物半導体は、非常に多くの種類が存在するがその物性は未だ報告が少なく、未開拓の次世代機能性材料群として注目されている。また、その物性面では強誘電性や強磁性などの従来の半導体材料ではあまり見られなかった物理現象も確認されている。Ⅲ族酸化物であるIn_2O_3、Al_2O_3、Ga_2O_3はワイドバンドギャップ半導体として従来の窒化物半導体より優れた特性を持ち、高出力トランジスタや整流器などのパワーデバイス、量子井戸赤外線検出器や深紫外線検出器その他のセンサーへの利用が考えられる。特に、大きな絶縁破壊電界を活用した高出力デバイスへの応用の可能性が期待されている。

Ga_2O_3は熱力学的に最安定な単結晶系β-ガリア構造の他に、いくつかの異なる結晶構造が存在しているため結晶成長法の研究が盛んである。準安定相の中でも、空間群$Pna2_1$の直方晶系の三族酸化物半導体は結晶構造の反転対称性がないため自発分極があり、直方晶系 κ-Ga_2O_3は高い自発分極が予測され注目されている。自発分極が大きいほど高密度の２次元電子ガスを利用できる高電子移動度トランジスタの材料としても有望である。

第一原理計算による直方晶系三族酸化物半導体In_2O_3、Al_2O_3、Ga_2O_3の格子定数、弾性定数、自発分極の予測が報告されており[1)]、特にIn_2O_3はAl_2O_3、Ga2O3 の約２倍の非常に大きい自発分極が予測されている。しかし、$Pna2_1$-In_2O_3は最安定構造の立方晶よりもエネルギー的に高い結晶構造であり安定性が低く、生成が困難である。

実際のデバイス設計において、材料の弾性定数や圧電定数に関する知見は非常に重要である。しかし、混晶系の弾性定数や圧電定数は測定が難しくすでにデバイスに用いられている材料でもその報告例は少ない。

本研究では、In_2O_3 とAl_2O_3およびGa_2O_3との混晶を用いたデバイス設計を想定し、第一原理計算により２つの混晶系の結晶構造、誘電率および自発分極と、歪みに対する結晶の応答を示す弾性定数および圧電定数の組成依存性を予測した。

2　理論

密度汎関数理論に基づいて以下のKohn-Sham方程式を解き、電子の波動関数とエネルギー固有値を得る。

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(r) + V_H(r) + V_{XC}(r)\right]\psi_i(r) = \epsilon_i\psi_i(r)$$

左辺には３つのポテンシャル、V(r)、V_H(r)、V_{XC}(r)が含まれる。V(r)は電子 i、原子位置τ_s、格子ベクトルR_jに対して以下で与えられ、

$$V(r) = \sum_{ijs} v_i(r - R_j - \tau_s)$$

一つの電子と全ての原子核との間の相互作用を表す。V_H(r)は Hartree ポテンシャルと呼ばれ、以下で与えられる。

$$V_H(r) = e^2\int\frac{n(r')}{|r-r'|}d^3r'$$

これはKohn-Sham方程式が扱う一つの電子と系のすべての電子による電子密度との間の相互作用である。交換相関ポテンシャルV_{XC}は形式的に交換相関エネルギーの汎関数微分により定義できる。

$$V_{XC}(r) = \frac{\delta E_{XC}(r)}{\delta n(r)}$$

Kohn-Sham方程式を解くにはHartree項および交換相関項に含まれる電子密度n(r)が必要である。そこで、試行電子密度をもちいてKohn-Sham方程式を解いて得た電子密度と試行電子密度を比較し、一致するまで試行電子密度を変化させる自己無撞着反復計算を行う。

3　計算方法

計算機シミュレーションには第一原理計算ソフトQuantum Espressoを用いた。波動関数の平面波展開における切断エネルギーは 45Ry とした。電子状態のk点積分にはMonkhorst-Packの 3×3×3 の k 点を使用した。電子-イオン間ポテンシャルにはPAW型擬ポテンシャルを、交換相関汎関数にはWu-Cohen型GGA汎関数を用いた。結晶構造最適化における原子に加わる力と結晶に加わる応力の収束条件はそれぞれ 10^{-4}Ry/Bohr 以下、0.01Gpa 以下とした。分極の計算にはBerry 位相法を用いた。弾性定数および圧電定数は、それぞれ 0.1%の歪みに対する応力および分極の線形応答から得た。原子配置は原子数 80 の 2×1×1 単位胞

を用いた準ランダム配置で、各組成に対して３つの異なる配置を用意した。

4　結果

図１、**図２**はそれぞれ $In_xAl_{1-x}O_3$ と $In_xGa_{1-x}O_3$ の弾性定数の組成依存性である。どちらも C_{11}、C_{22}、C_{33} は組成比 x=0.750 および 0.875 の値でフィッティング曲線からの乖離が目立つ。インジウムの割合が高まると結晶構造が変化する可能性が格子定数の組成依存性で確認できる。結晶構造の変化の影響は**図３**に示す自発分極の組成依存性でより顕著に現れている。原子配置の違いによる差も自発分極および圧電定数は特に大きい。一方で**図４**の誘電率は結晶構造にあまり影響を受けずおおよそ、ベガード則に従い材料の組成比に比例して変化している。

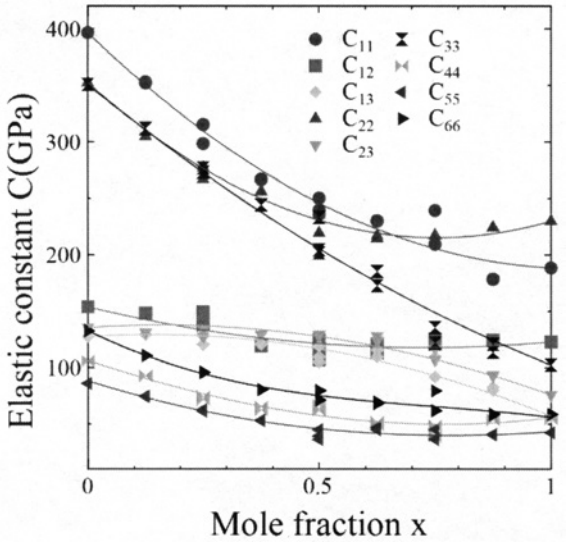


図１　$In_xAl_{1-x}O_3$ の弾性定数の組成比依存性

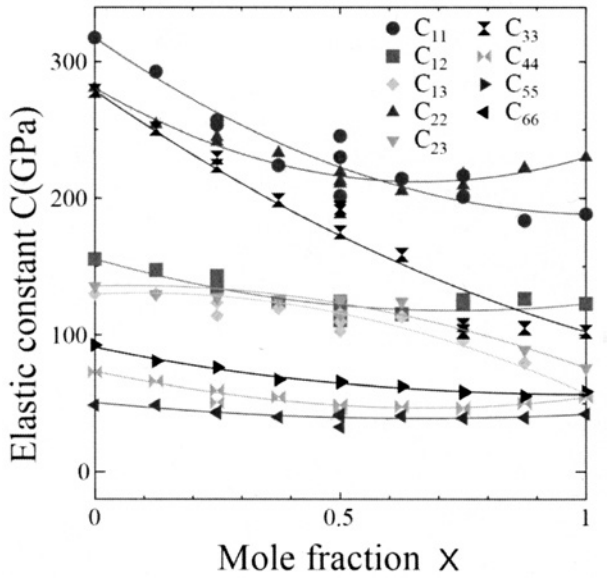


図２　$In_xGa_{1-x}O_3$ の弾性定数の組成比依存性

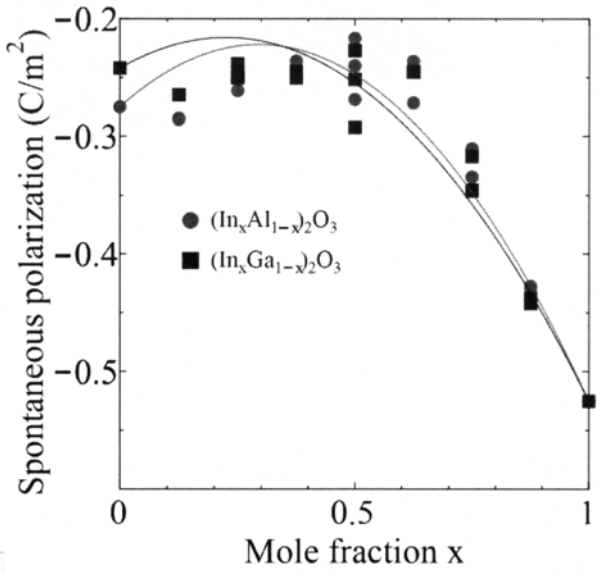


図３　$In_xM_{1-x}O_3$(M=Al,Ga)の自発分極の組成依存性

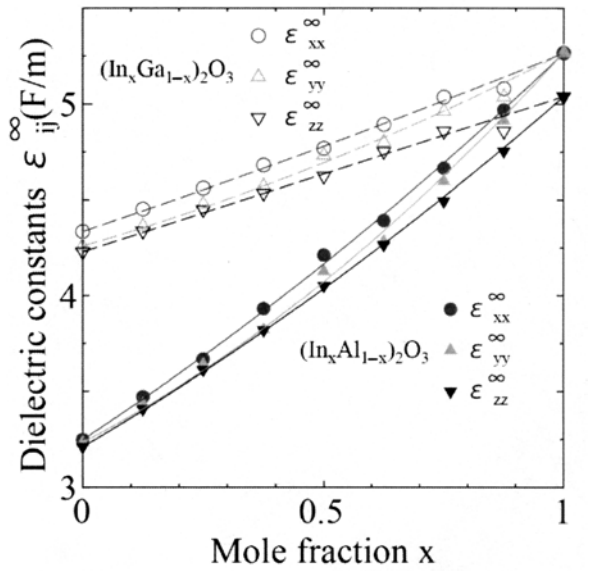


図４　$In_xM_{1-x}O_3$(M=Al,Ga)の誘電率の組成依存性

5　まとめ

本研究では、第一原理計算を用いて直方晶系 $Pna2_1$-$In_xM_{1-x}O_3$(M=Al, Ga)の格子定数、弾性定数、圧電定数、自発分極および誘電率を予測した。結晶構造の影響をあまり受けない誘電率以外の特性はベガード則に従わなかった。これは、$Pna2_1$-In_2O_3 が同じ対称性でも２つの結晶構造を取り得ることに起因している。この２つの結晶構造の特性が組成比 x=0.75 近傍を境に現れていると考えられ、このことから諸定数の組成に対する非線形性を説明することができる。

参考文献

1)　K. Shimada Mater. Res. Express 5 036502 (2018)

$Pna2_1$-$(Sc_xM_{1-x})_2O_3$ (M=Al, Ga) の格子定数、弾性定数および圧電定数の第一原理計算

電気工学専攻　北原　智輝
指導教授　島田　和宏

1　はじめに

近年、Ⅲ族窒化物や炭化ケイ素よりも優れた半導体特性を持った酸化ガリウム（Ga_2O_3）が注目されている。Ga_2O_3 はパワーデバイスや深紫外 LED など様々な用途が考えられる材料である。空間群 $Pna2_1$ の対称性を持つ直方晶系 Sc_2O_3 は、Al_2O_3 や Ga_2O_3 よりも強い圧電性を持つことが予測されており[1-3]、これらの材料の混晶で圧電性を調節することが可能であると考えられている。本研究では、Sc_2O_3 と Al_2O_3 および Ga_2O_3 の混晶を用いたデバイス設計を想定し、第一原理計算により2つの混晶系の格子定数、弾性定数、圧電定数、自発分極の組成依存性に関する計算を行った。

2　計算方法

第一原理計算ソフト Quantum Espresso を用いて、密度汎関数理論に基づき、電子状態を求めた。波動関数の切断エネルギーは 45［Ry］とし、擬ポテンシャルは PAW 擬ポテンシャル、交換相関汎関数は Wu-Cohen 型 GGA 汎関数を使用した。単位胞内の原子数は 80 原子（2×1×1 単位胞）、k 点積分は Monkhorst-Pack 3×3×3k 点（分極計算では分極方向に 3 倍）、原子配置は準ランダム配置（Special quasi-random structure）として計算を行った。

3　計算結果

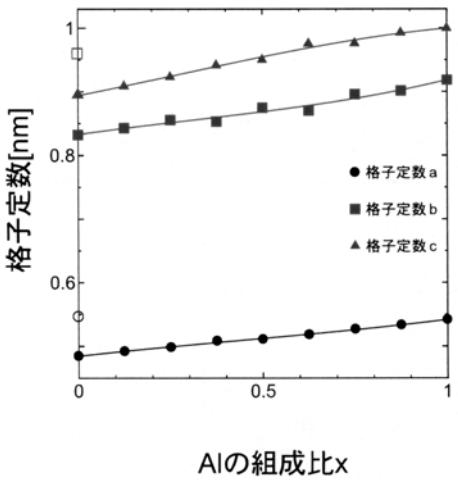


図 1　$Pna2_1$-$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ の格子定数

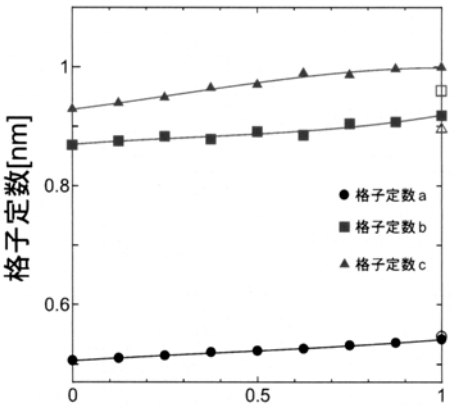


図 2　$Pna2_1$-$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の格子定数

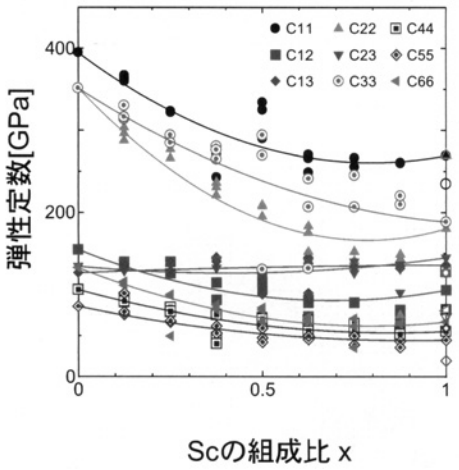


図 3　$Pna2_1$-$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ の弾性定数

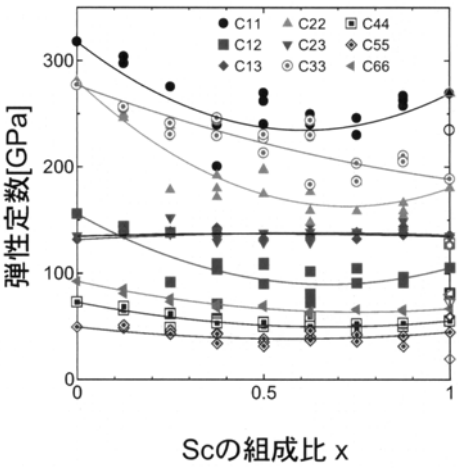


図 4　$Pna2_1$-$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の弾性定数

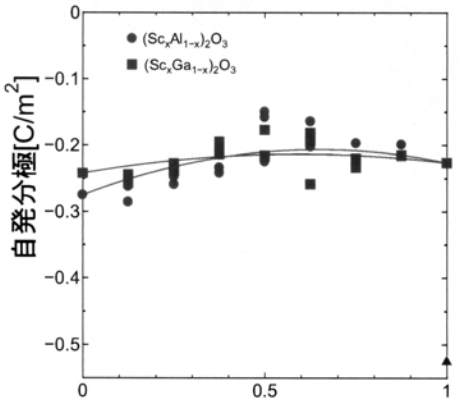


図 5　$Pna2_1$-$(Sc_xM_{1-x})_2O_3$(M=Al,Ga)の自発分極

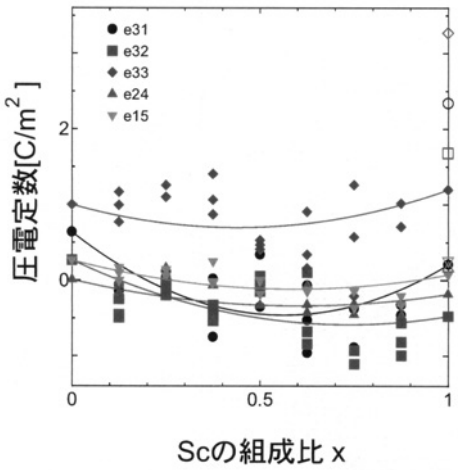


図 6　$Pna2_1$-$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ の圧電定数

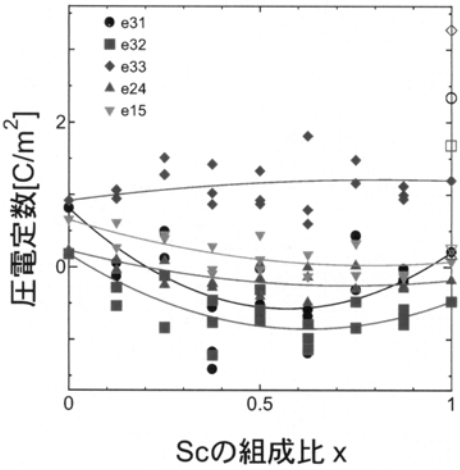


図 7　$Pna2_1$-$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の圧電定数

図 1 および 2 に$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ および$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の格子定数の計算結果、図 3 および 4 に$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ および$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の弾性定数の計算結果、図 5 に$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ および$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の自発分極の計算結果、図 6 および 7 に$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ および$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の圧電定数の計算結果を示す。

4　考察

図 1 および 2 より、白抜きのプロットは Sc_2O_3 の 5 配位の結晶構造の格子定数の値である。Sc との混晶は In との混晶とは異なり、少なくとも図 2 では組成比 0.875 までは 4 配位であるため、a 軸、b 軸、c 軸ともに、ほぼ線形に変化した。図 1 では、組成比 0.125～1 までは 4 配位のままであるため、a 軸、b 軸、c 軸ともに、ほぼ線形に変化した。

図 3 および 4 より、白抜きのプロットは Sc_2O_3 の 5 配位の結晶構造の弾性定数の値である。格子定数と同様に Sc の混晶の結晶構造は 4 配位のままであるため、組成比依存性に大きな変化は見られなかった。

図 5 より、▲のプロットは Sc_2O_3 の 5 配位の結晶構造の自発分極の値である。In との混晶とは違い、結合特性の変化はないため、ある組成を境に大きく変化することはなかった。

図 6 および 7 より、白抜きのプロットは Sc_2O_3 の 5 配位の結晶構造の圧電定数の値である。圧電定数は原子配置に敏感であり、値にばらつきがあるが、自発分極と同様に、ある組成を境に大きく変化することはなかった。

5　まとめ

密度汎関数理論に基づいた第一原理計算で、$(Sc_xAl_{1-x})_2O_3$ および$(Sc_xGa_{1-x})_2O_3$ の 2 つの混晶系の格子定数、弾性定数、圧電定数、自発分極の組成依存性を明らかにした。Sc との混晶は In との混晶のように 4 配位から 5 配位に変化することはないため、広い組成範囲で大きな特性の変化は見られなかった。圧電定数や自発分極は同じ組成でも原子配置により値にばらつきがあり、原子配置の影響を受けやすい結果となった。

【謝辞】本研究で行われた計算は、東京大学情報基盤センターのスーパーコンピューティングシステムを利用して行った。

参考文献

[1] M.Barbara and V.Fiorentini, Appl. Phys. Express 9, 041102 (2016).
[2] K. Shimada Mater. Res. Express 5, 036502 (2018).
[3] J. Kim et al., Appl. Phys. Express 11, 061101 (2018).

局所運動後における立位姿勢動揺の回復経過

電気工学専攻　佐藤　寛
指導教授　高橋　健太郎

1　研究背景及び目的

姿勢制御は，立つ，座るなど多くの日常活動において基本的なものであり，無意識の中で行われている。姿勢計測は大脳で行われる。その中で中枢神経系による平衡感覚機構が重要な役割を果たしている。姿勢制御とは，足底面での圧中心と頭部，上肢，体幹の重心が垂直線上で制御されることである。また，体性感覚，視覚，前庭の感覚情報を統合し，抗重力筋を適切に動かすことで姿勢制御が行われている。立位の姿勢制御では，身体の重心（COM）または足裏に対する床反力の作用重心点（COP）の位置が不規則に姿勢動揺を繰り返している。この姿勢動揺の要因として，精神疲労，視覚障害，筋疲労などがある。局所的筋疲労は，つまずき・転倒などの日常生活動作に影響を与えると言われている。先行研究では，特に腰部や足首などの局所的筋疲労が姿勢動揺を増加させ，悪化させることが報告されている[4]。その多くが腰部における事例のものであり，体幹伸筋疲労運動後の姿勢制御および体幹固有感覚に関する機能回復には，わずか 9 分から 30 分以上の時間が必要と報告している[3]。しかし，足首における局所的疲労の回復経過についての研究は少ない。そのため，局所運動後における姿勢動揺が時間経過に従ってどのように回復していくのかが不明である。本研究では，局所運動後における立位姿勢動揺の回復経過について明らかにすることを目的とした。

2　方法

2.1　被検者

被検者は，大学生 12 名（運動習慣あり 6 名，運動習慣なし 6 名）を対象とした。

2.2　使用機器

姿勢動揺の測定には，フォースプレート（Accugait, AMTI）を用いて，足圧中心の変動から床反力と 3 軸毎の力のモーメントを算出した。また，右足の前脛骨筋と腓腹筋における表面筋電図（EMG）の測定には，多チャンネル生体信号計測装置（PolymatePocket，ミユキ技研）を用いた。全ての機器に対して，サンプリング周波数 1000Hz で記録し，同期させた。

2.3　手順

実験手順として，フォースプレート上にて，閉眼立位姿勢の姿勢動揺を局所運動課題の前後で計測した。運動課題は，カーフレイズを 30 回，50 回，70 回の順で各 2 セットずつとした。姿勢計測の時間は，課題前は 30 秒，課題後は 17 分間で記録した。さらに，姿勢計測中の右足の前脛骨筋（TA）と腓腹筋（GA）の EMG を姿勢計測と同時に記録した。

2.4　測定項目

測定項目として，姿勢計測では，COP の算出から平均速度，総軌跡長を算出した。EMG 計測では，整流平滑化（ARV）を算出し，それぞれ積分値を求めた。

2.5　分析

平均速度と総軌跡長に対しては，姿勢動揺に個人差があるため，本計測中の各瞬時値 $V(t)$に対しては，その被検者の課題前の平均aおよび標準偏差σを用いて z スコア化を式(1)にて行った。

$$Z(t) = \frac{V(t)-a}{\sigma} \tag{1}$$

前脛骨筋と腓腹筋に対しては，整流平滑化（ARV）を算出し，総積分値を求めた。また，課題後 17 分間を総積分値として求めたものを基準にして，5 分後，10 分後，16 分後の平均値に対する正規化を行った。

分散分析（ANOVA）を用いて COP の平均速度，総軌跡長，TA，GA に検定を行い，ANOVA で統計的に有意差がある場合にのみ 5 分後，10 分後，16 分後の 3 群間の多重比較を行った。また，運動課題の試行回数ごとに同様の分析・検定を用いて，運動習慣ありと運動習慣なしをそれぞれ行った。すべての統計比較には p 値を 0.05 として評価した。

3　結果と考察

COP の各測定項目，TA と GA の EMG について算出し，運動習慣ありと運動習慣なしとして，カーフレイズの 30 回，50 回，70 回の試行回数ごとに分析を行った。また，運動課題前の測定値を基準として 5 分後，10 分後，16 分後の姿勢動揺における回復経過を調査した。30 回時での運動習慣ありの総軌跡長と EMG を**図 1** に示す。総軌跡長は，課題前の基準値に比べて低い値を示していた。5 分後では約-5.0%，10 分後には約-9.0%，16 分後には約-11%まで減少していた。これより，運動習慣ありは，課題前の基準値に比べて低い値を示していることから，局所疲労による姿勢動揺の影響を受けていないと考えられる。**図 2** に 30 回時での運動習慣なしの総軌跡長と EMG を示す。総軌跡長は，課題前の基準値に比べて 5 分後に約 4.0%まで増加し，10 分後には課題前の基準値に約 0.5%まで近づき，その後 16 分後には上昇していた。よって，運動習慣なしは，課題前の基準値に比べて高い状態から 10 分後まで回復しているが，10 分後から 16 分後でまた増加していた。これより，10 分後までは，先行研究[1]で

報告されているように足関節から股関節への姿勢制御戦略の移行があり，腹筋群や背筋群などの体幹を支える筋が姿勢動揺の回復に影響したと考えられる。筋活動量では，5 分後，10 分後と 16 分後の間で TA・GA ともに有意差が見られ，有意に 16 分後が高い値を示していた。これより，10 分後から 16 分後で姿勢維持による疲労の影響が見られたため，股関節の姿勢制御戦略だけでなく足関節戦略も使用されることで，筋活動量が増加したと考えられる。**図 3** に 70 回時での運動習慣ありの総軌跡長と EMG を示す。総軌跡長は，課題前の基準値に比べて約 6.5%の高い値を示していた。5 分後から 10 分後に減少し，10 分後から 16 分後で約 3.0%増加していた。結果から，運動習慣ありは，10 分後までに股関節戦略を使用し，その後足関節戦略もプラスされていることが考えられる。**図 4** に 70 回時での運動習慣なしの総軌跡長と EMG を示す。総軌跡長は，課題前の基準値に比べて 5 分後に約 15%の高い値を示していた。10 分後までは姿勢動揺の回復へ向かっているが，10 分後から 16 分後では姿勢動揺の回復ができないことが考えられる。筋活動量を見ると，30 回と同様に 10 分後から 16 分後にかけて筋活動量が有意に増加していた。これより，10 分後から 16 分後にかけて，長時間の姿勢維持に対する疲労の影響を受けているため，姿勢制御戦略の変化が起こったことが考えられる。

本研究の結果では，運動習慣ありは，運動習慣なしに比べて，局所疲労の影響を受けにくく，姿勢制御能力も高い傾向が見られた。先行研究では，運動の継続や身体トレーニングを行っている人は，体性感覚機能や運動連関出力機能が優れている [2]と報告されている。よって，運動習慣のある人たちはない人たちに比べ，姿勢制御能力が高いと考えられる。

4　結論

局所運動後における姿勢動揺の回復経過を調査した結果，以下のことが明らかになった。

局所疲労後の姿勢動揺は，回復経過で股関節への姿勢制御戦略に移行し，10 分を過ぎてから姿勢制御戦略の変化が起こったと考えられる。また，運動習慣ある人は，姿勢制御能力が高い傾向が見られた。

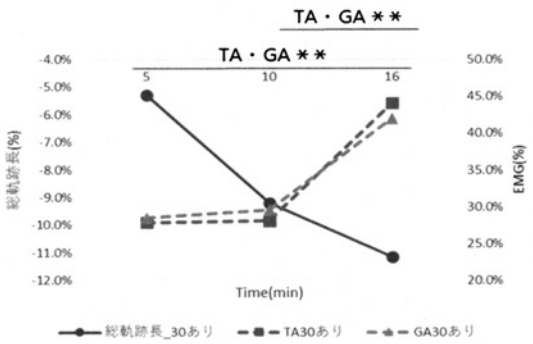


図 1　時間経過に伴う総軌跡長と EMG の変化（試行回数 30 回・運動習慣あり）

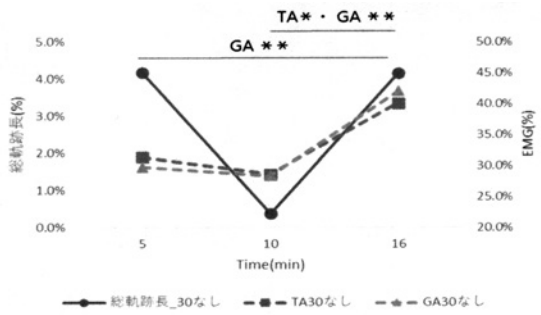


図 2　時間経過に伴う総軌跡長と EMG の変化（試行回数 30 回・運動習慣なし）

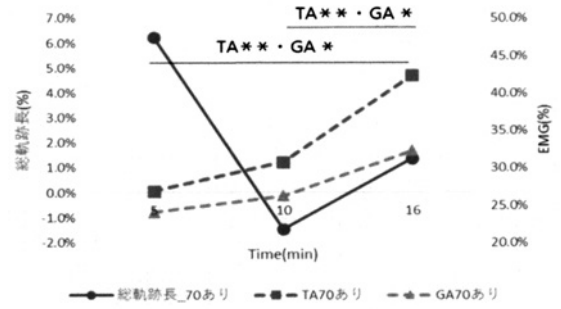


図 3　時間経過に伴う総軌跡長と EMG の変化（試行回数 70 回・運動習慣あり）

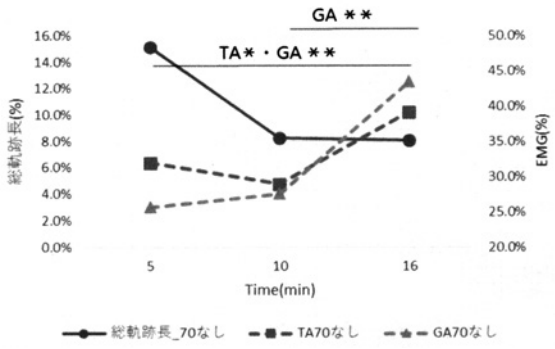


図 4　時間経過に伴う総軌跡長と EMG の変化（試行回数 70 回・運動習慣なし）

参考文献

1)　Davidson et al : Effects of localized muscle fatigue on recovery from a postural perturbation without stepping, Gait Posture, 29(2009), pp. 552-557.

2)　速水達也，金子文成，木塚朝博：運動経験による体性感覚─運動連関機能の相違，バイオメカニズム，19(2008)，pp. 47-56.

3)　DJ Larson, SHM Brown : The effects of trunk extensor and abdominal muscle fatigue on postural control and trunk proprioception in young, healthy individuals, Human movement science, 57(2018), pp. 13-20.

4)　Pline KM, Madigan ML, Nussbaum MA : Influence of fatigue time and level on increases in postural sway, Ergonomics, 49(15) (2006), pp. 1639-1648.

SRC 造建築物における地震観測と耐震診断結果の併用による構造健全性の評価に関する一考察

工学研究科建築学専攻　井上　静
指導教授　渡部　洋

1　序論

近年日本では,「レジリエンス」[1] という言葉が建築の分野でも修復までの期間を短縮するための回復力のキーワードとなっている。**図 1** はレジリエンスの概念を表すレジリエンス・トライアングル[1] である。

また,2013 年建築物の耐震改修の促進に関する法律が改正されたことにより，耐震診断義務付け対象建築物に関しては,要緊急安全確認大規模建築物で約 90%[2] 耐震普及率という現状がある。このように，多くの建築物が耐震補強改修を行われている現状がある中，耐震診断結果に着目し，そのデータをさらに有効活用できないかと考えた。

そこで，耐震改修後の診断結果と等価線形化法を応用，また許容応力度を利用することにより *Sa*—*Sd* による骨格曲線を作図し，等価周期の線分との交点を算出する。この交点を「安全限界点」と定義し，各固有周期との比較を行う。

本稿は構造ヘルスモニタリングと耐震診断結果を併用することにより，2 種類の「余裕度」という尺度を採用し，該当建築物の健全性の評価を詳細に行うものである。これにより耐震補強後建物の健全性の可視化を助け，構造ヘルスモニタリングの有効性を説き，「レジリエンス」を目指す社会の「頑強性」,「臨機応変力」に貢献するものである。

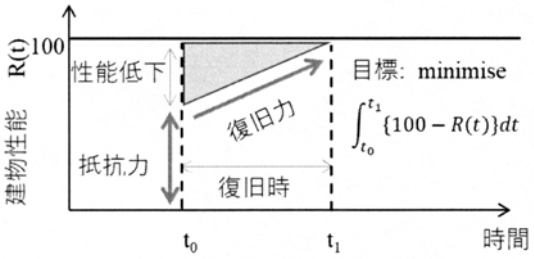


図 1　レジリエンス・トライアングル[1]

2　対象建物

対象建物は 1973 年に竣工し,階数 10 階(地上 8 階,地下 2 階,塔屋 1 階),延床面積約 9400m^2,軒高 30.5m,長辺（X）方向 44.3m，短辺（Y）方向 26.8m の事務所ビルとして使用されている鉄骨鉄筋コンクリート造（以下 SRC 造と略記）建築物である。

当該建物は 2015 年 2 月から 2019 年 11 月まで構造ヘルスモニタリングを行い，建物内の計測震度 1 以上の地震を 245 回観測記録してきた。この際使用した 6 個の IT 地震計は，RF，7F，5F，3F，1F，B2F に各 1 台配置された。

3　耐震診断概要ならびに結果

耐震補強後に行った第 2 次診断の結果を**表 1** に示す。使用した耐震診断ソフトは Super Build RC 診断 2001Ver.2（ユニオンシステム株式会社）であり，診断対象は地上階としている。

補強前と補強後 C_{TU}—F 関係を比較すると，補強後では C_{TU}の上昇が見られ，必要耐力を満たしていることがわかり，剛性を高めた補強を行っていることが確認できる。また，同表において構造耐震判定指標 I_{so}=0.60 における I_{si}/I_{so} を算出し各階の余裕度を表示する。補強後は 1～8 階において平均 124%の余裕度が見られ，最大値は 8 階となり 163%，最小値でも 6 階の 105%という結果だった。

表 1　耐震補強後第 2 次診断結果

	X方向　L-R加力				
階	$F_{u'}$	S_D	$C_{TU}S_D$	I_s	I_s/I_{so}
8	1.27	1.03	0.83	0.98	163%
7	1.27	1.14	0.67	0.75	125%
6	1.27	1.03	0.53	0.63	105%
5	1.27	1.14	0.67	0.79	132%
4	1.27	1.14	0.59	0.69	115%
3	1.27	1.14	0.63	0.75	125%
2	1.27	1.14	0.57	0.67	112%
1	1.27	1.14	0.60	0.71	118%
				min.	105%
				max.	163%
				mean	124%

F:靭性指標　S_D:形状指標　I_s:構造耐震指標
F_u':終局限度以下における最大 I_s 値を決定付けている F 値　$C_{TU}S_D$:累積強度指標と形状指標の積

4　地震観測の概要ならびに結果

構造ヘルスモニタリングから抽出された加速度時刻歴データより，フーリエスペクトルを求めた。これらスペクトルは FFT 法において 0.2Hz 幅でパルツェンウインドウにより平滑化した。伝達関数は，1 階を

基本としてフーリエスペクトル比を使用して計算している。常時微動は短周期の成分が卓越するため分析に含めず評価の対象外とし，第2波だけの2のべき乗の数を対象としている。この第2波は目視で選ばれ，B2階レベルの時刻歴応答加速度に基づいて最大応答値は分析対象時間中に含めた。

以上の方法により得られた複数のピーク周期の中で，最長のピーク周期を一次固有周期とする。**図2**において固有周期の変遷を示す。一次固有周期の最大値は，長辺方向で ${}_mT_{1X}$=0.79s（2015年5月30日発生地震），短辺方向で ${}_mT_{1Y}$=0.89s（2016年2月5日発生地震）が計測された。

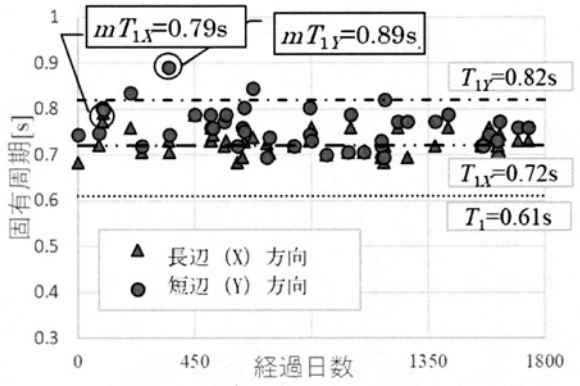


図2　固有周期の変遷

5　地震観測および耐震診断結果に基づく構造健全性の検討ならびに評価方法

耐震補強後建物の一次固有周期は，次の2種類の方法により推定した。一つ目は，略算式 T_1=0.02H=0.60s（H=30.5m）を利用した。二つ目は，許容応力度設計における雑壁を考慮した水平剛性と重量に基づく固有周期を計算した[3]。長辺方向固有周期（T_{iX}）と短辺方向固有周期（T_{iY}）とし，**表2**に計算した一次から五次固有周期までの結果を示す。この固有値解析では，対象階を地上階とし8質点系と想定した。最大値は，長辺方向 T_{1X}=0.72s，短辺方向 T_{1Y}=0.82sとなっている。

表2　許容応力度設計における雑壁を考慮した水平剛性と重量に基づく各方向の固有周期

direction		1st	2nd	3rd	4th	5th
X	T_{iX}[s]	0.72	0.27	0.17	0.12	0.10
Y	T_{iY}[s]	0.82	0.32	0.21	0.15	0.12

等価線形化法[4]を応用して，耐震診断結果から等価1質点系の性能曲線を作成する。その結果である*Sa*—*Sd*骨格曲線と等価周期の線分を**図3**に示す。尚，この等価固有周期はX，Y両方向のL—R加力のものである。この図において，*Sa*—*Sd*骨格曲線線分と等価周期線分の交点を「安全限界点」とする。

また，**図3**には*Sa*—*Sd*骨格曲線と略算式による（T_1=0.60s），許容応力度設計における雑壁を考慮した水平剛性と重量に基づく固有周期（T_{1X}=0.72s），構造ヘルスモニタリングにおける最大固有周期（${}_mT_{1X}$=0.79s）を重ねた。この等価固有周期（T_{sXL}=0.91s）の線分と比較して，他の固有周期は全て短周期側になっている。それは，T=2π√(M/K)におけるM（総質量）が変化しないという仮定の下，K（剛性）低下が生じていないと判定でき，該当建築物は健全であると評価できる。また等価固有周期を分子とし，各固有周期を分母とした場合，許容応力度設計における雑壁を考慮した水平剛性と重量に基づく固有周期では127%，構造ヘルスモニタリングにおける最大固有周期では115%の余裕度が見られた。

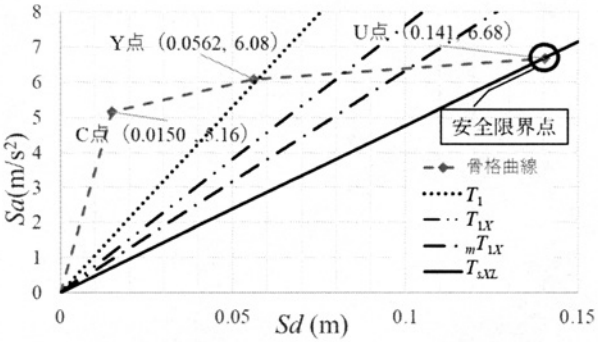


図3　各固有周期と*Sa*—*Sd*骨格曲線

6　結論

耐震診断結果における「余裕度」は最小値105%だった。構造ヘルスモニタリングにより一次固有周期の最大値（${}_mT_{1X}$=0.79s，${}_mT_{1Y}$=0.89s）が計測された。ここで安全限界点を定義する，等価線形化法による等価一次固有周期（T_{sXL}=0.91s）を基準とする「余裕度」の最小値は115%である。レジリエンスにおける「頑強性」に二つの余裕度が、「臨機応変力」に構造ヘルスモニタリング観測結果の報告と，絶対的指標のひとつとなる「安全限界点」の提示が貢献できる。

参考文献

1）佐藤貢一：はじめに，シンポジウム　建物の健全性モニタリング評価技術の取り組みと今後の課題，日本建築学会構造委員会振動運営委員会　建物健全性モニタリング小委員会(2020)，pp.02-04.

2）建築：住宅・建築物の耐震化について - 国土交通省（mlit.go.jp)(閲覧日：2021年12月6日）

3）Aya Kajiwara, Toshinari Ota and Hiroshi Watanabe: Preparation of Criteria for Damage on Re-reinforced Steel Reinforced Concrete Building Based on Seismic Observation, Proceedings of the 11th International Workshop on Seismic Microzoning and Risk Reduction, Yokohama, Japan(2018), 8pages, 27 Sep – 29 Sep.

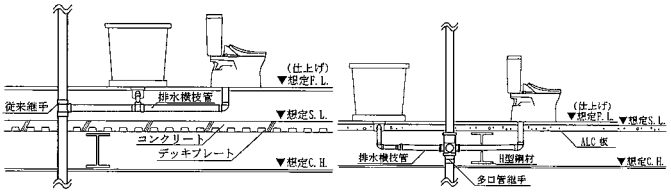
4）一般社団法人　日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の等価線形化法に基づく耐震性能評価型設計指針(2019)，pp.28-34.

ALC 中層集合住宅に適用する多口管継手排水システムの開発と排水能力評価

建築学専攻　石井　方奈子
指導教授　大塚　雅之

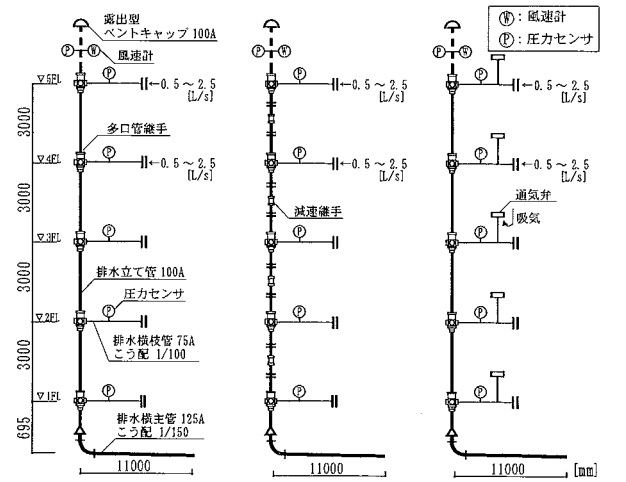
1　はじめに

東日本大震災以降、耐震・耐火性に優れている ALC（Autoclaved Lightweight aerated Concrete）板を用いた鉄骨造の戸建住宅の普及が著しい。さらに、平成 30 年総務省住宅・土地総計調査によれば、集合住宅の建設戸数が年々増加傾向にあり、特に 3～5 階建ての中層集合住宅の割合が住宅総数内の 4 割と多く占めている[1]。一般的な鉄骨造の賃貸住宅では、**図 1（1）**に示すように、排水横枝管システムを、専用部のスラブ上に設置する場合は、床仕上げ（二重床）とする必要がある。本研究では、同図（2）のように、多数の排水横枝管を集約できる多口管継手（**写真 1**）を用いて鉄骨梁を貫通させ床下で配管させることで、床仕上げ工程を少なくすることができ、コストの削減につながる ALC 中層集合住宅専用の排水システムを提案する。さらにその排水能力を実験的に把握し、その結果を用い対象とする中層集合住宅への適用の可否についても検討することを目的とした。



（1）一般的な鉄骨造住宅　　（2）ALC 鉄骨造住宅

図 1　鉄骨造住宅の排水横枝管システム概要



(1) 伸頂通気方式　(2) 減速継手方式　(3) 通気弁併用方式

図 2　供試排水立て管システム

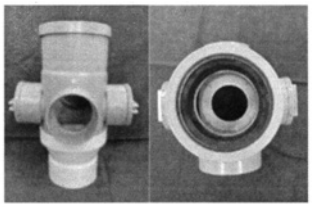


写真 1　多口管継手

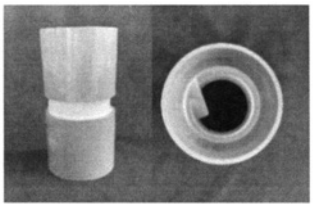


写真 2　減速継手

2　実験概要

2.1　供試排水立て管システム

図 2 に供試排水立て管システムの系統図を示す。同図 (1) は、基準となる多口管継手を用いた排水立て管の頂部に露出形ベントキャップ（100A）を設置した「伸頂通気方式」、同図（2）は、排水能力の向上を目的に、伸頂通気方式の各層間に排水の流下速度を抑える減速継手（**写真 2**）を設置した「減速継手方式」、同図（3）は、（1）の伸頂通気方式に加え各階の排水横枝管に通気弁を 1 箇所設置した「通気弁併用方式」である。排水横主管形態はストレート及び排水立て管の管芯より 1m の位置に第一曲がりを設けた曲がり配管とする。

2.2　排水負荷方法

排水能力試験は、SHASE-S 218[2] に準拠し、排水負荷を与える。既報[3] の結果によれば、住宅用 5 器具（大便器、台所流し、洗面器、浴槽、洗濯機）の合流排水の器具平均排水流量 qd 値が 2.72[L/s]であったため、各階の最大負荷流量をそれに近い 2.5［L/s］とした。よって排水負荷は、**表 1** に示すように 5 階及び 4 階から定流量負荷を 0.5［L/s］刻みで与え、最大合計排水負荷流量は 5.0［L/s］まで与える。

表 1　排水負荷パターン

排水階［F］	1箇所排水［L/s］					2箇所排水［L/s］				
5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
4	－	－	－	－	－	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
合計排水流量［L/s］	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

2.3　測定項目及び判定基準

測定項目は、伸頂通気管及び、各階排水横枝管での管内圧力変動 P［Pa］の最大値 $Pmax$・最小値 $Pmin$ とする。排水能力の判定条件は、SHASE-S 218[2] に準拠し、各階の $Pmax$ 及び $Pmin$ の内、システムの最大値 $Psmax$、システムの最小値 $Psmin$ を求め、判定基準値となる±400［Pa］以内におさまる合計排水負荷流量 Qw を排水能力（設計用許容流量値）とする。

3　実験結果

3.1　管内圧力分布

図 3 に排水横主管形態がストレート及び曲がりの場

合の *Psmin*、*Psmax* を用いた管内圧力分布を通気方式毎に示す。同図は排水立て管システムの必要排水能力とされる 5.0［L/s］（5 階、4 階から各 2.5［L/s］）の排水負荷を与えた場合である。同図（1）の伸頂通気方式では、排水横主管形態がストレートの場合に *Psmin* は-590［Pa］となり、判定基準値である-400［Pa］を超えた。同図（2）に示す減速継手方式では、排水横主管形態がストレートの場合に *Psmin* は-570［Pa］となった。伸頂通気方式と比較し 5％程度と若干の負圧が緩和される程度にとどまり、著しい効果は期待できない。同図（3）に示す通気弁併用方式では、排水横主管形態がストレートの場合に *Psmin* は-245［Pa］となり、伸頂通気方式と比較し 60％程度の負圧が緩和された。

3.2　排水能力

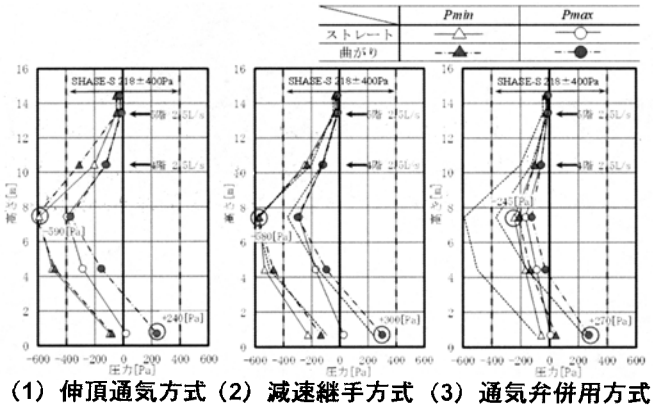
図 4 に排水横主管形態が曲がりの場合の合計排水負荷流量と管内圧力分布より求めた *Psmin* 及び *Psmax* の関係を示す。同図より、伸頂通気方式の排水能力は 4.0［L/s］となった。減速継手方式の排水能力は 4.25［L/s］となり、伸頂通気と比較し若干ではあるが排水能力が向上した。各階の排水横枝管に通気弁を設置した通気弁併用方式では、最大合計排水負荷流量の 5.0［L/s］を与えた場合でも、判定基準値内におさまった。**表 2** に排水能力一覧を示す。同表のうち、最も厳しい値を本システムでの設計用許容流量値とする。

3.3　適用階数の把握

SHASE-S 206[4]で規定されている定常流量法を用いて排水負荷流量 Q_L を算定し、それと 3.2 で得た各種通気方式の設計用許容流量値を照合し、本システムの適用階数を検討する。**表 2** に定常流量法に使用した SHASE-S 206 の住宅用標準データと既報で求めた節水形器具の器具排水特性値を示す。**図 5** に定常流量法を用いて階数ごとに求めた排水負荷流量 Q_L を示す。同図より、伸頂通気方式及び減速継手を設置した場合では、現行の SHASE-S 206 の住宅用標準データを用いた場合で 3 階程度、節水形器具を用いた場合で 6 階程度まで使用可能である。各階の排水横枝管に通気弁を設置した場合では、現行の SHASE-S 206 の住宅用標準データを用いた場合で 6 階程度、節水形器具を用いた場合で 10 階程度まで使用可能である。よって、伸頂通気方式に横枝通気弁を併用することで、5 層規模の中層集合住宅への適用は可能と考える。

4　まとめ

本報では、5 層規模の中層 ALC 鉄骨造集合住宅に適用する排水立て管システムの提案と、その排水能力に関して検討した。その結果、減速継手を設置した場合では、節水形器具では 6 階まで対応可能である。それに対し、各階の排水横枝管に通気弁を設置した場合には、負圧が大幅に緩和され排水能力が向上し、節水形器具を用いた場合では 10 階まで適用可能となった。そのため、安全を考慮すると、伸頂通気方式に通気弁を併用した場合が最も適用の可能性がある。



（1）伸頂通気方式（2）減速継手方式（3）通気弁併用方式

図 3　管内圧力分布（5.0[L/s]の場合）

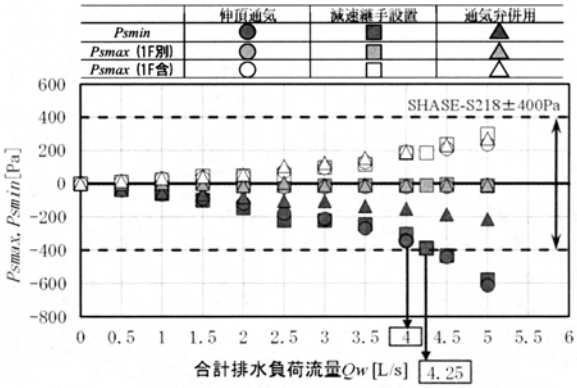


図 4　排水能力（排水横主管形態曲がり）

表 2　器具排水特性値及び原単位データ

	現行 SHASE-S 206 住宅用標準データ		節水形器具 器具排水特性値		排水頻度	排水率
						SHASE-S 206
器具名	器具排水量 w[L]	器具平均排水流量 q_d[L/s]	器具排水量 w[L]	器具平均排水流量 q_d[L/s]	平均排水間隔 T_0[s]	β
大便器	9	1.5	4.98	1.2	700	1.0
洗面器	6	0.75	9.96	0.47	700	1.0
台所流し	6	0.75	5.97	0.26	200	1.0
浴槽	180	1.0	151.7	0.25	3600	0.3
洗濯機	120	0.75	30.37※	0.54	3600	0.5

※洗濯機はピーク時間帯に 2 度運転されることとする。

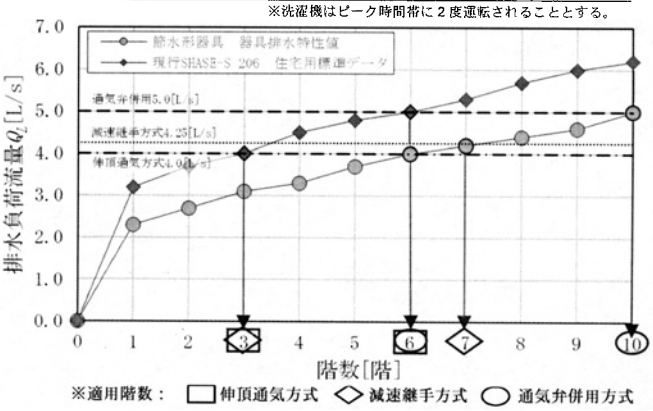


図 5　適用階数と排水負荷流量 Q_L

参考文献

1）　総務省統計局：平成 30 年住宅・土地統計調査結果(2019.4)

2）　公益社団法人 空気調和・衛生工学会：集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法 SHASE-S 218-2014(2014.11)

3）　大塲涼太　他：ALC 鉄骨造の戸建て住宅における排水横枝管システムの排水性能評価に関する研究，空気調和・衛生工学会学術講演論文集(2019.9)，pp105-108

4）　公益社団法人 空気調和・衛生工学会：給排水衛生設備基準・同解説 SHASE-S 206-2019(2020.1)

住み手の嗜好を反映するL字型住戸ユニットにより構成される集合住宅の設計

大学院建築学専攻　○伊藤　　暖
指導教員　粕谷　淳司

1　はじめに

「良い住宅」とは一体何なのだろうか。環境的に優れた省エネ住宅、災害に耐えることのできる頑強な住宅、ただ住むことさえ出来ればよい住宅なのかもしれない。2022年現在までの技術の発展により建築材料の種類、質、形状など、建築家が住宅設計を行う際の意匠の自由度は、格段に向上し豊かになったと思う。住宅には様々な評価ポイントがあり、人それぞれの考え方がある。しかし、多様な住宅がある中で住み手が自宅に対して抱く感情は共通して「推し」という感情だと考える。

2 「推し」の感情

この「推し」という言葉がなぜ住み手が自宅に対して抱く感情なのか。それは住宅においても「推し」の感情の重要なポイントは、愛すること。生活を送るに際して住み手は、自身の住宅の在り方を自分のやりたいようにするのは常である。一般的に住み手は自身の好みを住宅に展開することは容易に想像できると思う。そうした生活をするにつれ集まる家具や小物、そして何より建物の形状、それらは住み手が選択してきた「推し」の集合体だと言える。つまり住み手は自宅に対して「推し」という感情を抱いていることに変わりはないと考える。

3 研究方法

3-1. 研究の目的

本研究の目的は、建築家によって設計された住宅において住み手と建築家の着眼点の違いを比較することで、真に住み手が住宅に対して意識していることは一体何なのか。そして、建築家は住宅に対して何を意識して設計しているのか知るために行ったものである。「推し」が散りばめられている住宅を計画する際に、住み手自身は暮らしの中でどこに注目しているのか。そして、建築家は、実際に生活を送っていく住み手のことをどこまで予想、理解をして住宅の意匠設計を行なっているのか。住み手自身が依頼した建築家が持つ作家性をどのように住宅に見出しているのか本研究で分析を行うことで、彼らにとって住宅がどのような存在なのか調査していく。

3-2. 研究の対象

本研究の対象は、著書「日本、家の列島」に掲載されている住宅から「昭島のハウス/西沢大良」、「鉄の家/隈研吾」、「羽根木公園の家/坂茂」、「O 邸/中山英之」、「駒沢の住宅/長谷川豪」、「千葉の家/suppose design office」、「デッキの家/手塚貴晴+手塚由比」、「切通しの家/菅原大輔」、「光の郭/エムエースタイル建築設計」、「リポジトリ/五十嵐淳」以上 10 作品を対象とする。

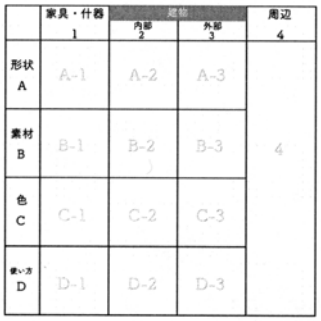
この著書を対象とした理由は、著書に住み手の住宅に対する思いがインタビュー形式で掲載されていること、建築家によって日本に設計されている住宅が掲載されていることである。なお、建築家と住み手が同一となる住宅は対象から除外している。

3-3. 研究の手法

本研究は対象として挙げた著書「日本、家の列島」に掲載されている住宅に実際に住んでいる住み手に対するインタビューの文章と、雑誌「新建築」に掲載されている同住宅の建築家によって書かれた文章を一節ごとに区切っていき、設定した項目に分類し、住み手と建築家の２つのグラフを作成、比較を行う。その結果から住宅に対して住み手と建築家が何を意識しているのか分析する。

3-4. 設定したグラフの項目概要

作成したグラフ「**図１**」の項目は縦に上から「形状 A」、「素材 B」、「色 C」、「使い方 D」とし、横に左から「家具・什器１」、「建築内部２」、「建築外部３」、「周辺４」とした。



「図１」　住宅における注目項目の分類グラフ

3-5.分類方法

分類方法の例として、「家具・什器の形状」ならば A-1、「内部の使い方」ならば D-2、「周辺」ならば 4、「外部の素材」ならば B-3 へ分類してグラフを作成していく。分類した文章をカウントしていき、項目ごとで全体の割合をパーセンテージで算出している。

ただし、「建築内部２」にも「建築外部３」にも現れない建築構造的な成り立ちの説明文章は今回の比較分析においてはカウントしないものとする。

例「母屋は 100m 角の H 型鋼で組まれ, 壁厚を 180mm ほどに抑えています.」

3-6. 分類結果

住宅を分類、グラフ化し比較することで、住み手と建築家の住宅への意識は内的空間と外的空間で異なる部分があることがわかった。住み手の意識は建築家に比べて「建築内部の使い方」(D-2) に大きく向いている。さらに「建築内部の形状」(A-2) や「家具・什器」(1) など内観的要素に意識が向いていることがわかった。一方で、建築家は「建築外部」(3) の意識が比較的に多くあることがわかった。建築外部の形状」(A-3) は、O 邸で見てみると 29.6%と最も語られていて、住み手は7.7%と比べてみても差があることがわかる。これらの結果から住宅において比較的に住み手は内部の使い方や形状など内観に意識を向けて生活を送っており、建築家は比較的に外部の形状、素材など外観に意識を向けていることがわかった。

住宅に対する思いを文章化したことで、真に他者へ伝えたいことが明確に表れてると考える。いわば、「推し」の紹介文であり、住み手も建築家もどこに魅了されているのか述べているようだ。つまり「推し」のポイントを発見することができた。

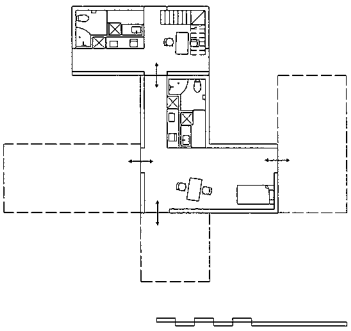
5　設計概要

5-1. 集合住宅における新たな住居スタイルの提案

住宅に抱く「推し」という感情を考えてきて、住宅に「推し」があることは生活を豊かにすることができると考えている。「推し」のある住宅は住み手の「推し」が詰まっている場所であり、心が安らぐことのできる場所である。存在自体が住み手には尊く掛け替えなく、みんなに伝えたくなってしまう住宅。それが「推し」住宅である。今回提案する設計は、そんな「推し」住宅が集まってできる「推し」集合住宅である。集合住宅の住戸が「推し」を共有したように他の住み手や、通行人などに見ることのできる「推し」空間を設計していく。

5-2.　L 字型ユニット

L 字型住戸ユニットは、3.6m 角のブロックを 3 つ L 字型の成すように連結させたボリュームで、キッチンや水回りの機能的な室と居間、寝室が配置されたシンプルなプランを基本とし、住居としてではなく事務所や商業的施設にも変容することのできる今までのマンションにはない住居と建築の他施設を掛け合わせることのできる集合住宅の住戸形態である。L 字型ユニットを上下左右に回転させ、ユニットを掛け合わせることで建築として立ち上げ、集合住宅を設計していく。ユニットを L 字型にすることで住戸の間には 3.2m 角のヴォイドが現れ、グランドレベルでは外部からの通り道を作り出し、上の階に行けば住み手の生活が滲み出てくる外部空間ともなり得る。L 型を組み合わせながら積み上げることで住居の群が外観からでは一つの塊として現れる集合住宅である。住居人数や、商業の拡大に合わせて床面積を広げることが可能である。「図 2」

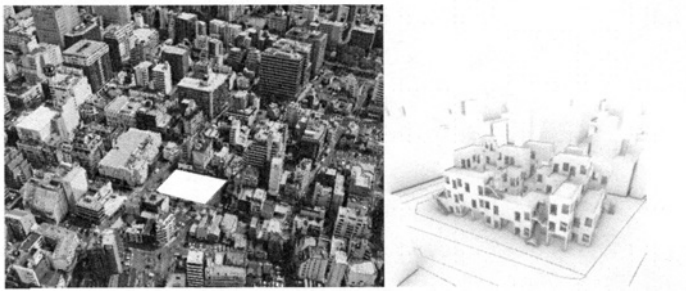


「図 5」　L 字型ユニット

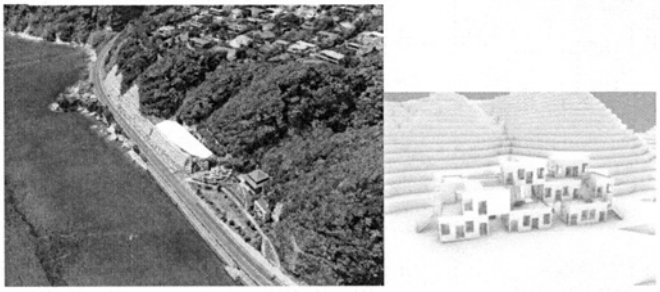
5-3.　敷地選定

本計画において選定した敷地は、都市部と郊外部の二箇所である。二箇所とした理由は、都市部と郊外部で住み手の在り方が変わると考えたからである。

「図 3」「図 4」



「図 3」　都市部：敷地



「図 4」　郊外部：敷地

参考文献

1) ヴェロニック・ウルス、ジェレミ・ステラ、マニュエル・タルディッツ、ファビアン・モデュイ, パナソニック汐留ミュージアム,『日本、家の列島』, (2017),97pp-132pp.
2) 西沢大良：「建築と極類」,『新建築』, 11 月号　(2004),116pp-123pp.
3) 隈研吾,『新建築』, 1 月号(2008),36pp-43pp.
4) 坂茂：「街並みと公園をつなぐ景色の道」『新建築』, 8 月号(2011),58pp-67pp.
5) 中山英之：「生活に奥行をつくり出す」,「境界の作り方」,「山並み背景型」,「母屋と下屋」,『新建築』, 12 月号(2009) ,156pp-163pp.
6) 長谷川豪：「木の屋根,木の外壁」,『新建築』, 12 月号(2011) ,84pp-90pp.
7) 谷尻誠,『新建築』, 2 月号(2014) ,64pp-71pp.
8) 手塚貴晴+手塚由比,『新建築』, 6 月号(2013) ,48pp-57pp.
9) 菅原大輔：「自然と人工をつなぐ」,『新建築』11 月号(2012) ,134pp-141pp.
10) 川本敦史＋川本まゆみ：「光のコートハウスに 町並みを作る」,『新建築』, 9 月号(2013) ,20pp-29pp.
11) 五十嵐淳：「つなぎつつ緩衝帯となる」,「内部敷地の中に「箱」を置く」,『新建築』, 3 月号(2013) ,16pp-37pp
12) 健やかに「推し活」を楽しむための心構えを心理学者と考えてみたら https://lidea.today/articles/002991
13) goo 辞書　https://dictionary.goo.ne.jp/word/推し/#jn-301506
14) 通じる言葉になった「推し」　https://mainichi-kotoba.jp/enq-372#96
15) そもそも「推し」とは？幅広いジャンルに存在する「推し」の概念について考えてみた https://www.felissimo.co.jp/oshikra/3093/

割裂破壊を伴う集成材梁接合部の抵抗メカニズムの分析
-鋼板挿入型ドリフトピン接合の場合-

建築学専攻　馬川　昌大
指導教授　高島　英幸
指導教員　神戸　渡

1　はじめに

近年、注目されている中大規模木造建築は、部材の大断面化に伴い設計手法の高度化が求められる。構造形式はラーメン構造とすることが多いが、近年必要とされている部材(梁せい 1000mm など)には、既存の設計手法[1)]の適用範囲が不明瞭な点が多い。また、部材の大断面化に伴う破壊形式として割裂破壊が発生することがある[2)]。

そこで本研究では、ドリフトピンを用いた鋼板挿入型を適用した集成材梁を用意し、鉛直加力試験を実施した。それら接合部に割裂破壊が発生すると想定する仕様とし、その破壊性状・抵抗メカニズムを把握することが目的である。

2　実験概要

2.1　試験体の仕様

試験体は両端を鋼板挿入型ドリフトピン接合で支持治具と留め付けた、スパン約 3000mm の集成材である。

図 1 にセットアップ例、図 2~4,表 1 に接合部・試験体の仕様を示す。試験体に用いた集成材は、材種がオウシュウアカマツの日本農林規格[3)]における等級が E105-F300 の同一構成集成材であり、梁せいは 450,600,1000mm の 3 種である。ドリフトピンは φ16,18,20 であり、ミガキ材 SGD3(SS400)である。挿入鋼板は 9mm と 11mm であり、集成材に設けたドリフトピン用の孔はピンと同径である。集成材の小口には 11mm のスリットが設けてある。挿入した鋼板は、試験体の両側に設けた H 型鋼の柱に高力ボルト接合で留め付けた。柱材の面内変形を抑えるために補強材、面外変形を抑えるために拘束治具を設置した。接合形式は円形(cir.)、矩形配置(rec.)の 2 種類とした。

2.2　試験方法

本試験は、単調加力で実施した。試験体と加力用 H 型鋼の間には単板積層材を置き、梁材に大きくめり込まないようにした。すなわち、支持スパンが約 3000mm にたいして 1200mm もしくは 1500mm 幅の 3 点曲げ方式で加力を行い、接合部にせん断力を加えるものとした。

試験体下側に計 5 台、両端に計 4 台の変位計を設置し、絶対鉛直変位と鋼製柱に対する相対水平変位を測定した。試験体の左側裏面では、ドリフトピン周辺の挙動を測定するために画像相関計測を行った。

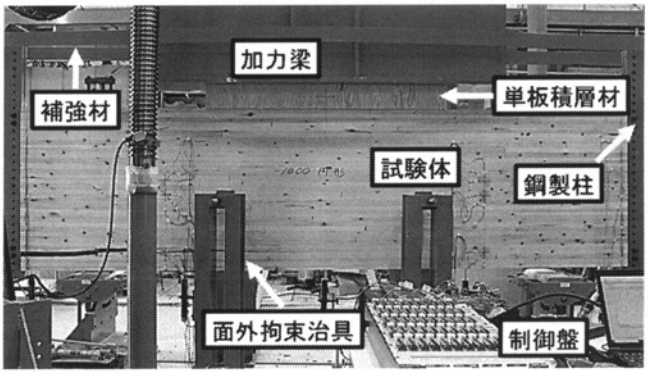


図 1　セットアップ例(1000-cir.)

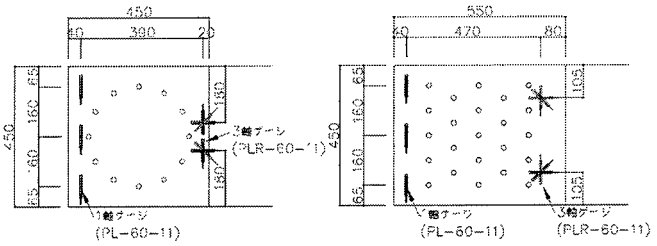


図 2　接合部の仕様(450-cir.,rec. 単位:mm)

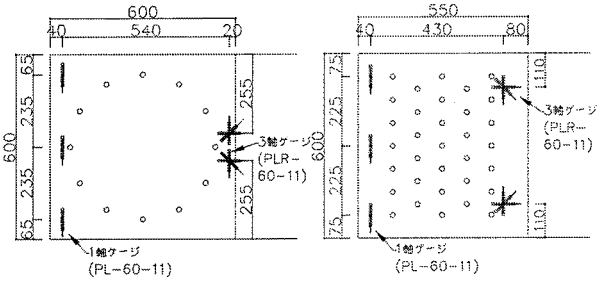


図 3　接合部の仕様(600-cir.,rec. 単位:mm)

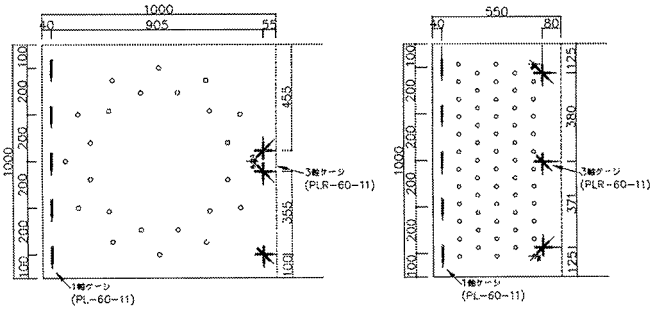


図 4　接合部の仕様(1000-cir.,rec. 単位:mm)

表 1 試験体仕様

試験体名	部材せい [mm]	部材長 [mm]	ドリフトピン径 [mm]	ドリフトピン本数 [本/接合部1か所]	配置形状	試験体数
450-cir	450	2500	16	12	円形	各1体
450-rec		2700	16	23	矩形	
600-cir	600	2800	16	12	円形	
600-rec		2700	16	33	矩形	
1000-cir	1000	3900	18	24	円形	
1000-rec		3000	16	58	矩形	

3　結果・考察

図 5 に主な破壊性状を示す。ほとんどの試験体で接合具周辺で割れが発生するのを確認された。本試験体では、最終的に割裂破壊し終局(最大荷重の 8 割以下に荷重低下)するものであったが、その前の段階で若干の荷重低下を伴う割れが発生した。

図 6 に終局直前の画像相関計測の結果例を示す。図に示すようにドリフトピン周辺のひずみは大小さまざまであった。また、一部のドリフトピン周辺では、ほとんど応力を負担していないことが確認された。表 2 に応力を負担しているドリフトピンの割合を示す。円形配置のものは梁せいに関わらず 83%以上であったが、矩形配置では梁せいが大きくなるほど割合は小さくなり 21~87%であった。

図 7 に荷重-変位関係例、図 8 に実験値(試験で得られた最大荷重)と計算値との比較を示す。図 7,8 における計算値は木質構造設計規準(以下、木規準と呼ぶ)で定められている(1)式[4]で算出した。

$$P_{ur} = \frac{2}{\sin\theta} \cdot C_r \cdot l \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \qquad (1)$$

ここで、P_{ur}:割裂荷重、θ:荷重角度(本試験体では 90 度)、C_r:割裂破壊定数(事前実験で得たもの(=C_{r1}),本試験体の比重から得たもの(=C_{r2})を用いた)、l:主剤厚、h:梁せい、h_e:加力点側から最遠の接合具までの距離

C_{r1},C_{r2}を用いた割裂荷重はそれぞれP_{cr1},P_{cr2}とする。全ての試験体で実験値は計算値よりも低く、実験値を計算値で除した値は 0.67~0.98 であり、本試験体の耐力を木規準の式で計算した値は危険側に評価するものであった。

図 9 に実験値を(1)式に代入し、逆算して得たα(=h_e/h)を示す。図中のα_1,α_2はそれぞれC_{r1},C_{r2}を用いたときの値である。αとα_1及びα_2は梁せいが大きいものでは近く、小さいものでは離れていた。これより梁せいが小さいものではh_eの取り方を修正する必要があると考えられる。これは、加力点側から最遠の接合具位置以外で割れが発生したことに関連していると考えらえる。

4　おわりに

本研究では、鋼板挿入型ドリフトピン接合を適用した集成材梁の鉛直加力試験を行った。

参考文献

1) 稲山 正弘:中大規模木造建築物の構造設計の手引き(改訂版), 彰国社, 2019.
2) 日本建築学会:木質構造部材・接合部の変形と破壊, 丸善, pp.93-115, 2018.
3) 集成材の日本農林規格, 農林水産省告示, 第 47 号, 2019.6.
4) 日本建築学会:木質構造設計規準・同解説, pp.222-238, 2006.

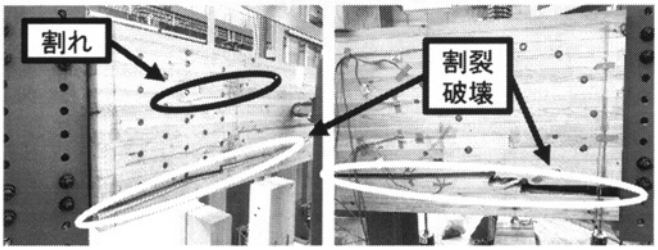


図５　破壊性状例

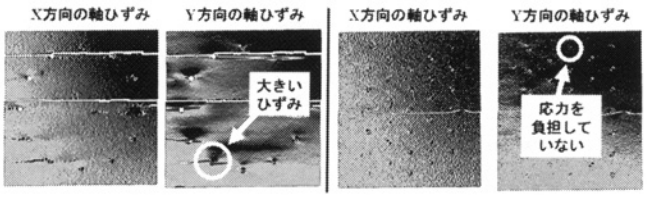


図６　画像相関計測の結果例(600-cir.(左),rec.(右))

表２　応力を負担しているドリフトピンの割合

試験体名称	ドリフトピン本数 [本/接合部一か所]	応力を負担しているドリフトピン本数[本]	割合 [%]
450-cir.	12	10	**83**
450-rec.	23	20	**87**
600-cir.	12	10	**83**
600-rec.	33	17	**52**
1000-cir.	24	23	**96**
1000-rec.	58	12	**21**

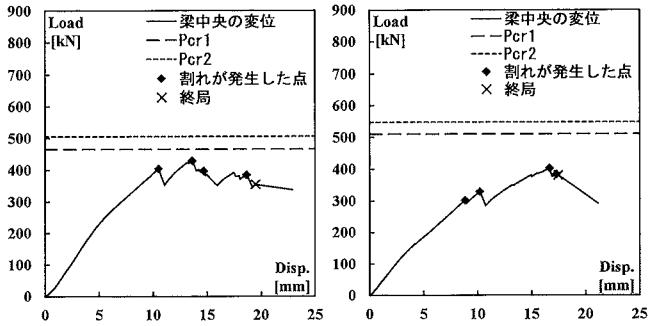


図７　荷重-変位関係例(600-cir.(左),rec(右).)

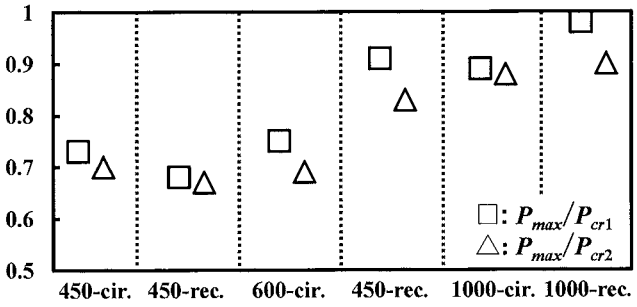


図８　実験値と計算値の比較

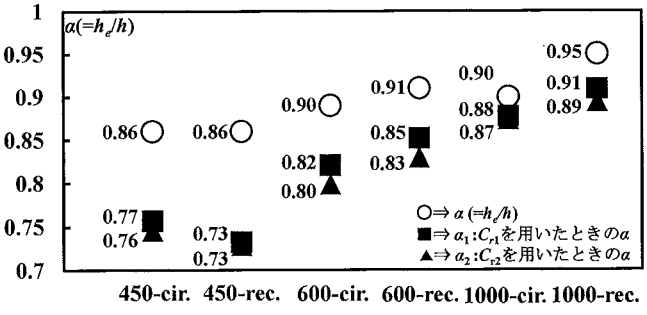


図９　割裂破壊時の α(=he/h)

鉄筋コンクリート造柱梁接合部の破壊性状に及ぼす柱梁強度比の影響

建築学専攻　小澤　武蔵
指導教授　渡部　洋

1　はじめに

2021 年版の日本建築学会の『鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説』[1]には鉄筋コンクリート（以下 RC と略記）造建物は地震時に柱梁接合部内の主筋が引張降伏をともなう柱梁接合部降伏破壊が生じると，想定した梁の終局曲げ強度に達しなくなると明記されている。梁端の曲げ降伏ヒンジで想定した強度が発揮されず，架構の耐力が終局に至ってしまい，柱梁接合部に損傷が集中して建物が層崩壊してしまう。

著者らが行った先行実験[2]では RC 造の柱と梁の曲げ強度の比（以下柱梁強度比と略記）が 1.0 であり，柱梁接合部に斜めひび割れが発生し，履歴曲線はスリップ型になっている。文献[1]では柱梁強度比が 1.0 に近い場合，柱梁接合部降伏破壊は避けられないと指摘している。このことから，先行実験では柱梁接合部破壊が生じたと思われる。

本研究では先行実験で行った No.1（既存架構），No.2（樹脂補強），No.3（繊維及び樹脂補強）の続きとして No.4（既存架構）の実験を行う。No.4 は，柱の強度を増加し，柱梁強度比を増加した RC 造部分架構を対象とした加力実験を行う。RC 造柱梁接合部の破壊性状に及ぼす柱梁強度比の影響について考察する。柱梁強度比が 1.0 の場合と 1.7 以上の場合、曲げ耐力の精算式と略算式の場合の余裕度，破壊性状の比較を行う。

2　実験概要

2.1　試験体概要

図 1 に試験体詳細図を示す。試験体は，実大の 1/3 程度のスケールを想定している。本実験の試験体（No.4）の RC 造部分架構は，先行実験の No.1 をモデルとしており，スラブ，梁，柱から構成されている。No.1 から No.4 への変更点は，柱主筋を SD295A から SD490 に変更，柱に中子筋を追加，軸力比を 0.04 から 0.11 に変更している。RC 造梁，RC 造柱において，破壊モードは梁曲げ先行型である。

2.2　使用材料における特性

表 1 に本実験で使用したコンクリートの機械的性質，**表 2** に鋼材の機械的性質を示す。コンクリートの設計基準強度は 21N/mm² である。

2.3　加力方法

既存 RC 造柱に対する軸力比は No.1～3 が 0.04，

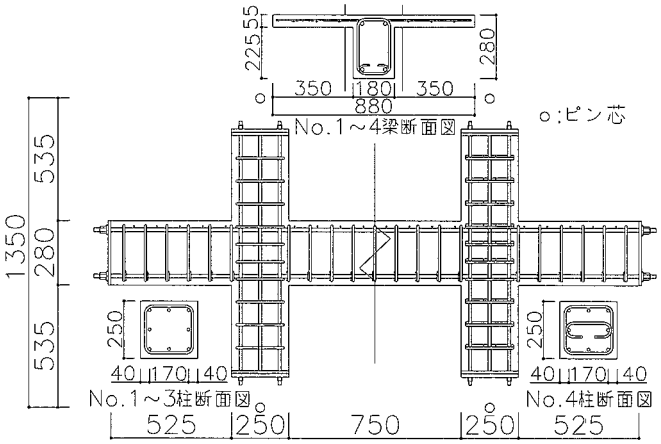


図 1　試験体詳細図（No.1～3 を左，No.4 を右）

表 1　コンクリートの機械的性質

No.	Fc	材齢 [day]	ρ [g/cm³]	σ_B [N/mm²]	σ_T [N/mm²]	ε_0 [μ]	cE [kN/mm²]
1	21	39	2.29	21.4	1.99	1784	39.1
2	21	43	2.29	22.6	1.98	1743	37.8
3	21	46	2.29	22.9	2.13	1936	40.2
4	21	34	2.37	36.3	3.25	1639	36.0

ρ：気乾密度，σ_B：圧縮強度，σ_T：引張強度，
ε_0：強度時ひずみ度，cE：ヤング係数

表 2　鉄筋の機械的性質

No.	位置	呼び径	鋼種	σ_y [N/mm²]	σ_u [N/mm²]	$Y.R.$	ε_y [μ]	ε_u [%]	$_sE$ [kN/mm²]
1～3	梁主筋	D16	SD295A	327	476	0.687	1884	27.8	194
	柱主筋	D13	SD295A	338	487	0.694	1908	26.6	192
	あばら筋・帯筋	D10	SD295A	356	514	0.693	2083	23.3	192
	スラブ筋	D6	SD295A	371	537	0.691	1920	21.2	193
4	梁主筋	D16	SD295	339	498	0.682	1777	26.9	197
	柱主筋	D13	SD490	521	692	0.752	2850	17.8	192
	あばら筋・帯筋	D10	SD295	347	486	0.714	1757	21.0	205
	スラブ筋	D6	SD295	369	532	0.695	3889	16.2	95

σ_y：降伏点，σ_u：引張強さ，$Y.R.$：降伏比，
ε_y：降伏ひずみ度，ε_u：伸び率，$_sE$：ヤング係数

No.4 が 0.11 として、鉛直方向の荷重を与えた。

与えた鉛直荷重は，No.1 が 108kN，No.2 が 113kN，No.3 が 115kN，No.4 が 510kN に相当する。

No.1～3 の水平荷重を部分架構の層間変形角として ±0.1，0.25，0.5，1，1.5，2，3，4，5%に相当する試験機変位を目標変位として各 3 回繰り返し与えた。No.4 の水平荷重は層間変形角 4%サイクルまで，各 3 回繰り返し与え、5%サイクルは 1 回与えた。

2.4　柱梁強度比、強度低下率 β_j

表 3 に求めた試験体の柱梁強度比，強度低下率を示す。柱と梁の曲げ強度の精算値の算定は，梅村氏の e 関数法を用いた曲げ解析により求めた。柱と梁の曲げ強度の略算値は文献 [1] に記載された式で求めた。十字形接合部の場合の強度低下率 β_j は文献 [2] に記載された式で求めた。以上の式については本論を参照のこと。

3　実験結果及び考察

3.1　水平荷重—層間変形角関係

図 2 に水平荷重 H—層間変形角 R 関係の包絡線を示す。軸力による $P-\delta$ 効果の影響が含まれている。層間変形角は水平変位を柱頭，柱脚のピン芯間の距離で除した値とする。No.1 は目標層間変形角 0.1%サイクルにおいて柱にひび割れが生じた後，1%サイクルにおいて柱の主筋に付着割裂ひび割れを確認した。No.4 は，目標層間変形角 0.1%サイクルにおいてスラブにひび割れが生じた後，1%サイクルにおいて柱梁接合部に斜めひび割れを確認した。また，No.1，4 は共通して左右の梁のひび割れが中央の梁より生じなかった。No.1～3 はスラブ筋，梁主筋，柱主筋の順を経て最大荷重に至った。No.4 は接合部内梁主筋降伏，スラブ筋，梁主筋降伏，接合部内横補強筋の順を経て，最大荷重に至った。

3.2　実験結果一覧

表 4 に No.1，4 の実験結果一覧を示す。No.1 はスラブ筋が $R=-0.63$%，梁主筋が $R=0.63$%，柱主筋が $R=2.55$%において降伏した。No.1 の水平荷重の最大値は正側が 137.4kN，負側が−121.0kN となった。No.4 は柱梁接合部内梁主筋が $R=0.29$%，スラブ筋が $R=-0.43$%，梁主筋が $R=0.63$%，接合部内横補強筋が $R=1.81$%において降伏した。No.4 の水平荷重の最大値は正側が 143.9kN，負側が−142.5kN となった。

3.3　柱梁強度比による破壊性状の比較

No.4 は最大耐力以前に接合部内梁主筋，スラブ筋，梁主筋，接合部内横補強筋の順に降伏した。また，接合部内に斜めひび割れが発生した。以上のことから接合部降伏破壊と判断した。No.1 の梁曲げ終局時の層せん断力の計算値は，144.5kN で実験値より 5.2%過大評価していた。No.4 の計算値は，156.3kN で実験値より 8.6%過大評価していた。

4　おわりに

No.1 は，スラブ筋，梁主筋，柱主筋の順で降伏した後に最大荷重に至った。柱梁強度比を増加した No.4 では，柱梁接合部内梁主筋，スラブ筋，梁主筋，柱梁接合部内横補強筋の順で降伏した後に最大荷重に至った。No.1 では接合部内梁主筋は未計測であるが，柱梁強度比が 1.0 であり、接合部内の斜めひび割れ，履歴曲線がスリップ型のことから、柱梁接合部破壊になった。No.4 の破壊性状は，接合部内梁主筋が降伏したこと，柱梁接合部に斜めひび割れが生じたこと，履歴曲線がスリップ型になったことから，柱梁接合部破壊と判断した。この範囲では柱梁強度比に基づく柱梁接合部破壊を判断することは難しいと思われる。

強度低下率が 1.0 に近い No.1 と強度低下率が 1.5 以上の No.4 の梁曲げ終局時の層せん断力の計算値は，No.1 が 5.2%，No.4 が 8.6%過大評価していた。中央の梁と左右の梁のひび割れが対象にならなかったことから，ト字形接合部の挙動が生じた可能性がある。

表 3　試験体の柱梁強度比，強度低下率

No.	算定方法	M_{cu} [kNm]	M'_{cu} [kNm]	M_{bu} [kNm]	M'_{bu} [kNm]	$\frac{\sum M_{cu}}{\sum M_{bu}}$	β_j
1	精算式	42.1	42.1	42.1	39.6	1.03	1.05
	略算式	39.0	39.0	43.8	28.0	1.09	1.07
4	精算式	71.6	71.6	52.1	31.5	1.71	1.50
	略算式	78.5	78.5	44.9	29.1	2.12	1.70

$M_{cu}(M'_{cu})$：上柱（下柱）の曲げ終局モーメント
$M_{bu}(M'_{bu})$：右梁（左梁）の曲げ終局モーメント
$\frac{\sum M_{cu}}{\sum M_{bu}}$ ：柱梁強度比

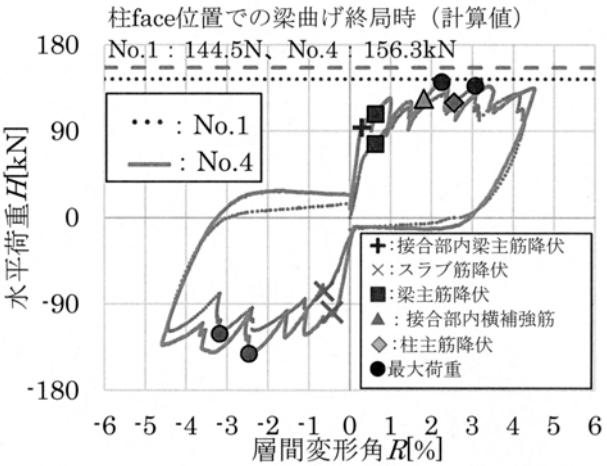


図 2　水平荷重－層間変形角関係の包絡線

表 4　実験結果一覧

No.	柱梁接合部内梁主筋降伏時		スラブ筋降伏時		梁主筋降伏時		柱梁接合部内横補強筋降伏時	
	H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]
1	—※1	—※1	-77.0	-0.63	72.9	0.63	—※1	—※1
4	94.5	0.29	-102.7	-0.43	108.0	0.63	123.9	1.81

No.	柱主筋降伏		最大荷重			
			正側		負側	
	H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]	H [kN]	R [%]
1	119.9	2.55	137.4	3.06	-121.0	-3.16
4	—※2	—※2	143.9	2.36	-142.5	-2.46

※1：未計測、※2：未降伏

参考文献

1)　日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説，(2021.2)，pp.62-207
2)　小澤武蔵，渡部洋，佐野ゆかり：アラミド繊維及びポリウレア樹脂を用い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，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2020.9)，pp.645-646

昭和初期のSRC造K県本庁舎の構造解析モデルの検証と水平耐力の分析

建築学専攻　小林　海斗
指導教授　高島　英幸

1　序論

1.1　研究背景

K県本庁舎は1981施行の新耐震基準に準拠していない。また、構造解析を行い、結果が公開されていないため、構図要素の全容が明らかではない。そこで汎用構造解析ソフトmidas iGen[1]を用いて構造解析モデルの作成及び解析を行い、耐震性能の評価を行うために建物の挙動を分析する必要がある。

1.2　研究目的

本研究では実際の建物に近づけるために構造解析モデルに壁を導入し、設計及び解析を行った。部材降伏後のヒンジ生成状況から水平耐力を分析するために静的増分解析を行った。

2　K県本庁舎に関して

2.1　K県本庁舎の歴史

K県本庁舎は1926年の設計コンペでデザインが募集され、小尾嘉郎の案を基に神奈川県内務部が設計を行った。1996年に国の登録有形文化財に登録され、県庁のシンボルであり愛称のもとになっているキングの塔は和風の要素を取り込んだ帝冠様式になっている。

図1　建物外観[2]

2.2　建物概要

表1　構造概要

構造	鉄骨鉄筋コンクリート構造
階数	地下1階
	地上5階
	塔屋4階
最高高さ(m)	48.6
延べ床面積(m²)	18292
建築面積(m²)	3070

3　壁の導入

本研究では解析モデルに壁を導入した。図面を基に耐力壁を導入したモデルとその他の壁を導入したモデル（以降、本モデルと呼ぶ）を作成した。尚、本モデルで導入した壁には実際に開口部があるが、本研究では開口部がないものと仮定してモデルの作成及び解析を行った。

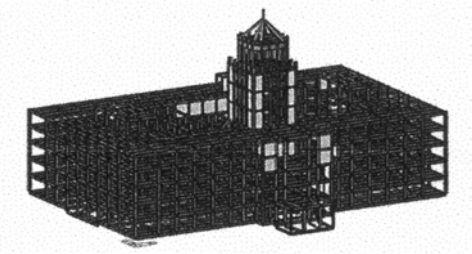


図2　耐力壁導入モデル

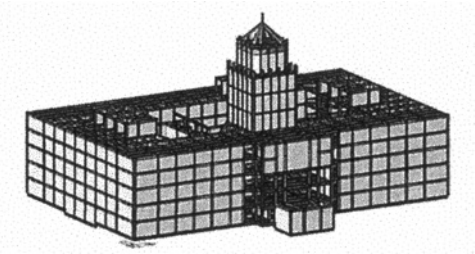


図3　本モデル

4　固有値解析

壁が増えたことで建物の剛性が上がり、固有周期はフレームモデルと比較して短周期化する結果となった。本建物は壁の影響が大きいことが分かった。

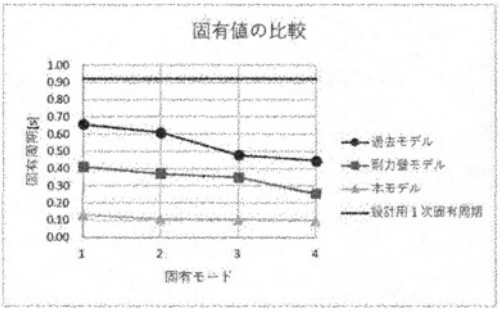


図4　固有値比較

5　許容応力度設計

5.1　解析条件

許容応力度設計を行うために、長期荷重と短期荷重を設定した。長期荷重は固定荷重と積載荷重を設定し、短期荷重は長期荷重に加えて地震荷重を設定した。検定値が 1.0 を超えたものは鉄筋を段階的に増設し検定値 1.0 を下回る設計を行った。

5.2　解析結果

ある梁断面端部の修正前と後の断面詳細を図 5 に示す。

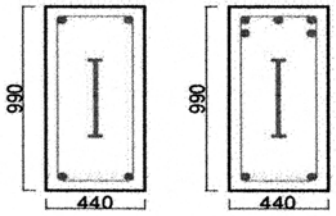


図 5　左：修正前断面、右：修正後断面

6　静的増分解析

6.1　解析条件

荷重の増分数は 100、増分させる荷重は許容応力度設計時の短期荷重を用い、倍率は 10 を設定した。また、本研究では柱、梁の断面内部の鉄骨で降伏させる仮定で解析を行う。各断面の 1 次、2 次降伏強度は以下の式で算出を行った。

$P1 = Z * \sigma_y$　　(1)

$P2 = Z_p * \sigma_y$　　(2)

P1：1 次降伏強度

P2：2 次降伏強度

Z：断面係数

Z_p：塑性断面係数

6.2　解析結果

双方のモデルで 2 次降伏後も荷重と変位が増加する結果となり、過剰な水平耐力を持つ結果となった。その原因としては、本研究では壁に剛性を期待し、壊れる想定をしていない点が挙げられる。また、断面内部の鉄骨を降伏させる仮定で降伏強度を設定した点も原因として挙げられる。

耐力グラフの結果を以下の図に示す。尚、縦軸はベースシア（全体水平荷重）、横軸は変位を示す。また、グラフ上に示した節点の位置を図 8 に示す。

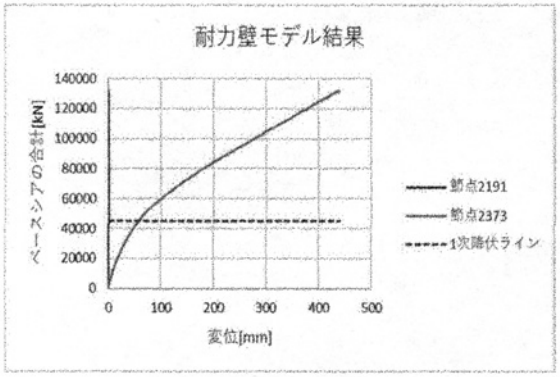


図 6　耐力壁モデル耐力グラフ

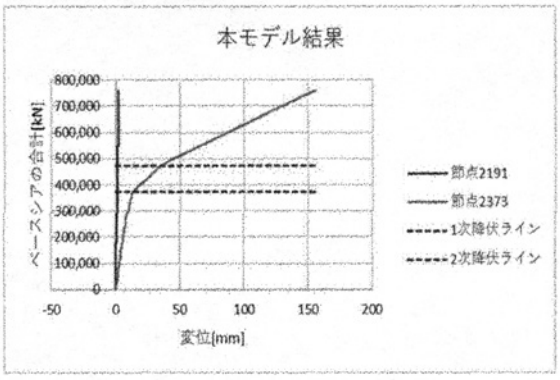


図 7　本モデル耐力グラフ

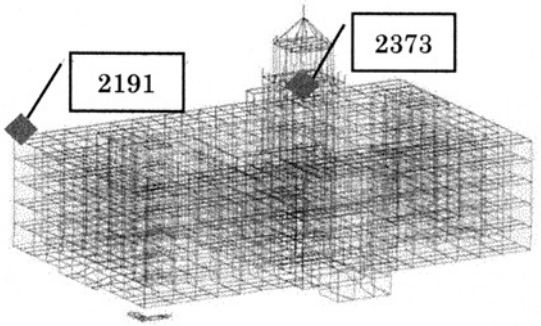


図 8　節点位置

6　まとめ

本研究では壁の導入が建物の剛性に大きく影響することが分かった。固有値解析では過去のモデルと比較してそれぞれ短周期化する結果となり、建物重量と剛性の変化が影響した。静的増分解析では壁の影響、また断面内部の鉄骨を降伏させる仮定が原因で水平耐力が過剰に出る結果となった。モデルの剛性を低下させるためにも、今後は壁の開口部を設けて解析を行う必要があると感じた。

7　今後の課題

・壁に開口部を設け、より実際の建物に近似させてモデルで解析

・水平耐力と保有水平耐力の比較

参考文献

1）midas iGen ver. 900 R2x

2）神奈川県 HP:
http://www.pref.kanagawa.jp/docs/rb2/cnt/f380088/

3）midas iGen オンラインマニュアル：
https://manual.midasuser.com/JP/iGen/881/index.htm

3）椛山健二、楠　浩一：ひとりで学べる RC 造建築物の構造計算演習帳【許容応力度計算編】第 3 版第 2 刷、2019 年 4 月 10 日発行

4）「キングの塔」誕生！-神奈川県本庁舎とかながわの近代文化遺産-、神奈川県立博物館、発行日：2013 年（平成 15 年）7 月 19 日発行

旧中野義盛家を対象とした合掌造りの構造解析モデルの検証
（壁要素を考慮した振動固有値解析）

建築学専攻　小林　公宗
指導教授　高島　英幸

1　序論

1.1　背景

岐阜県と富山県に分散して所在する白川郷合掌造りは、豪雪地帯で長い間風雨に耐え現代の建物と同等に合理的な建物だと知られている。合掌造りの一部分を対象とした研究は存在するものの、それを利用した研究は少ない。既存の研究を利用した解析モデルによる構造解析は、歴史的建築物の保存のためにも重要である。

1.2　目的

本研究では岐阜県側の合掌造りの旧中野義盛家（図1）を対象とし、軸部の壁部材を考慮した場合、どのような影響を与えるか調べた。

2　解析概要

2.1　FEM 解析

汎用構造解析プログラム MIDAS iGen ver900R2x を用いて FEM 解析をおこなう。

2.2　振動固有値解析

大規模モデルの解析に適した Lanczos 法を利用する。

2.3　解析モデル

図 2 に 3 次元解析モデルを示す。この解析モデルは合掌造り保存修復のすべて[1)]や実測により作成されている。詳細な解析ができるように、材軸のずれを再現して作成されている。

2.4　解析条件

本研究では、荷重条件は自重のみ考慮することになった。しかし、屋根材である茅葺材はモデル化できないため、小屋組の各節点に支配面積に対応した等分布荷重を導入し、固有値解析にも反映されるようにした。

材料条件は木材工業ハンドブック[4)]を参照し、設定した。平均値を主に使用した（表 3）。ポアソン比は個々の数値が示されていないため、スギと同じ 0.4 とした。

支持条件・接合部条件は表 5 の 4 つの条件でおこなう。

軸部の接合部剛性の条件は表 5 を使用する。柱-梁接合部や柱-大引接合部は、ホゾの寸法が不明なため、一律に同じ条件とした。貫は木質構造接合部設計マニュアルを利用して、接合部回転剛性を算出した。

図 1　旧中野義盛家

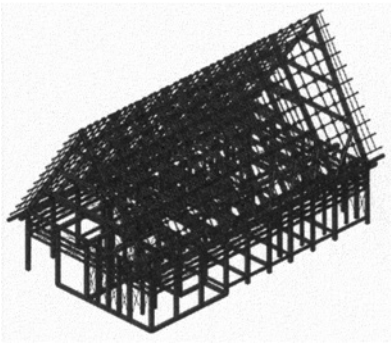


図 2　旧中野義盛家　3 次元解析モデル

表 3　材料条件と使用位置

	ヒメコマツ	スギ	アカマツ	クリ
弾塑性係数 [N/mm²]	7000	7500	11500	9000
気乾密度 [g/cm³]	0.45	0.38	0.52	0.6
ポアソン比	0.4	0.4	0.4	0.4
使用部材	柱、梁	貫	差鴨居	土台、大引

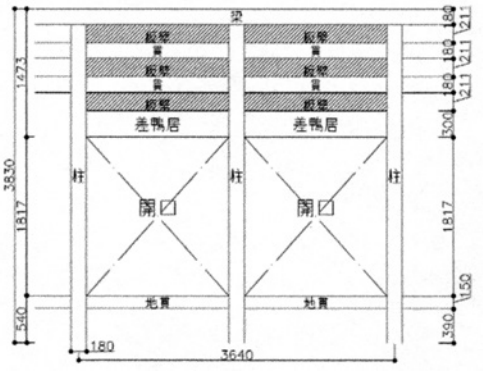


図 4　壁モデルの例(試験体 E)

2.4　壁モデル

壁モデルは「白川郷合掌造り民家の垂れ壁付き独立柱の静加力実験」[3]において提案された水平荷重-変形角関係を満たす架構（図 4）を MIDAS iGen 上に再現し、そのときの材料断面や接合部剛性の条件を図 2 のモデルに導入して利用した。各条件を表 5 に示す。

参考文献において提案された 1m あたりの水平荷重-変形角関係を図 6 に示す。本研究では、初期剛性が重要なため、1 次勾配のみ再現をおこなってる。

表 5　各 case の条件内容

case	支持条件	接合部回転剛性	ブレース直径[mm]				
			壁面 C 上部	壁面 C 下部	壁面 D	壁面 E	壁面 E´
1	ピン支持	剛接合					
2	ピン支持	10%	18.2	3.5	10	12	18.2
3	ピン支持	20%	18.2	3.5	2	10	18.2
4	10%	10%	5.7	3.9	2.2	3	5.7

3　解析結果

3.1　振動固有値解析の結果

各 case における、固有値の結果を図 7 に示す。3 次モードまでを対象とした。既往の研究である case1 では 1 次モードでの固有周期が訳 1.4 秒であったのに対して、case2～4 では 0.9 秒ほどに短縮した。また、case2～4 では架構全体の剛性が似ているため、固有周期もほとんど同じになった。

3.2　振動モード

case1（図 8）と case2（図 9）の 1 次のときの振動モードを示す。破線が元の位置である。case3，4 も case2 と同じような振動モードだった。

case1 では X 方向の並進だけではなく、Y 方向の並進も出ていた。caae2 では Y 方向の並進が無くなり、X 方向の並進が主な振動モードとなった。

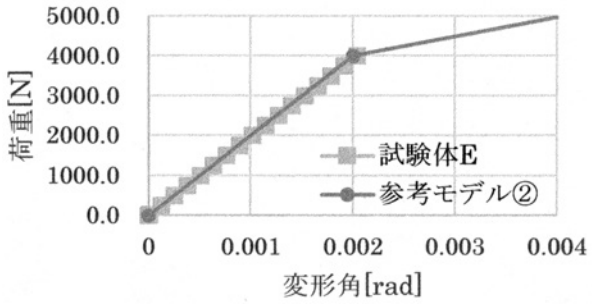


図 6　case2 における試験体 E と参考モデルの剛性

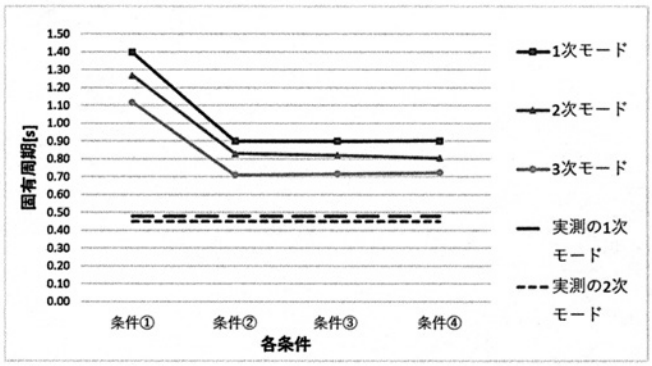


図 7　各 case における振動モードと固有周期

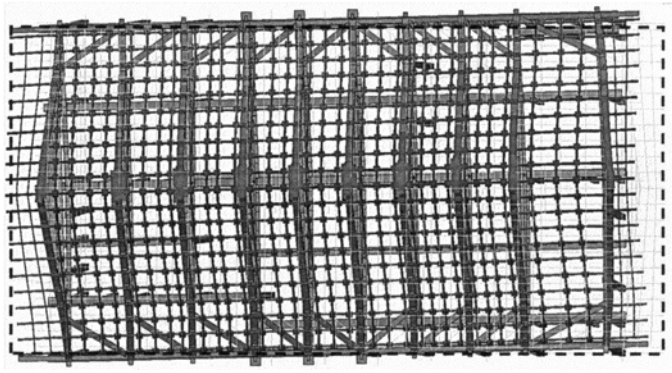


図 8　case1 における 1 次振動モード

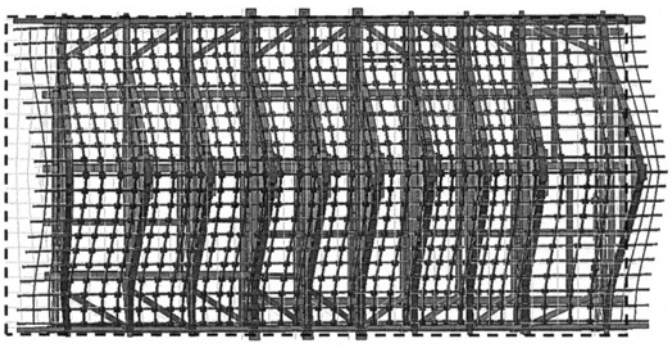


図 9　case2 における 1 次振動モード

4　考察

壁要素を導入することによって、固有周期を実測値に近づけることが出来た。

参考文献[2]より、研究対象の旧中野義盛家の 1 次振動固有値は 0.48 秒とされている。振動に大きな影響を与える壁を入れてもこの値には届いていない。今回の参考モデルよりも実状の壁要素は高い剛性を持っているか、さらに床部材による影響も考えられる。

5　結論と今後の課題

既存の研究を利用して、壁要素を導入することによって、対象建物の固有周期を低減することが出来た。

振動モードが構造体から予測できる動きに近づき、合掌造りの詳細な解析をするために一歩進めた。

しかし、まだ実状には遠い状態のため、床部材などさらなる要素の追加が必要になると考えられる。

参考文献

1) 宮澤智士, 川村哲夫, 松本継太：合掌造り保存修復のすべて（2003）

2) 松田昌洋：白川郷合掌造りの民家の振動特性，日本建築学会大会学術講演梗概集（2010 年 9 月）

3) 松田昌洋：白川郷合掌造り民家の垂れ壁付き独立柱の静加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（2011 年 8 月）

4) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック改定 4 版（2004）

5) 日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル（2009）

現代における野菜直売所のデザイン
(-神奈川県三浦市に点在する野菜直売所の構成と意識調査を通して-)

建築学専攻　○高桑　健
指導教授　柳澤　潤
指導教員　黒田　泰介
中津　秀之

1.序論

1.1　研究背景と目的

三浦野菜として知られる神奈川県三浦市には野菜直売所が多数点在している。農家の方が作る直売所は様々な形や大きさをしており、販売形態も異なる。本論では直売所の建ち方や、その構成と周辺環境との関係性等を調査・分析することで野菜直売所の魅力の一端を明らかにすることを目的とする。

1.2　研究方法

(1)52 箇所の直売所を分類し、その建ち方と周辺環境との関係性についてデザインの分析・考察を行う。
(2)アンケート調査を関東学院大学建築・環境学部の学生を対象に調査を行い、直売所のデザインに対する関心や興味について調べる。

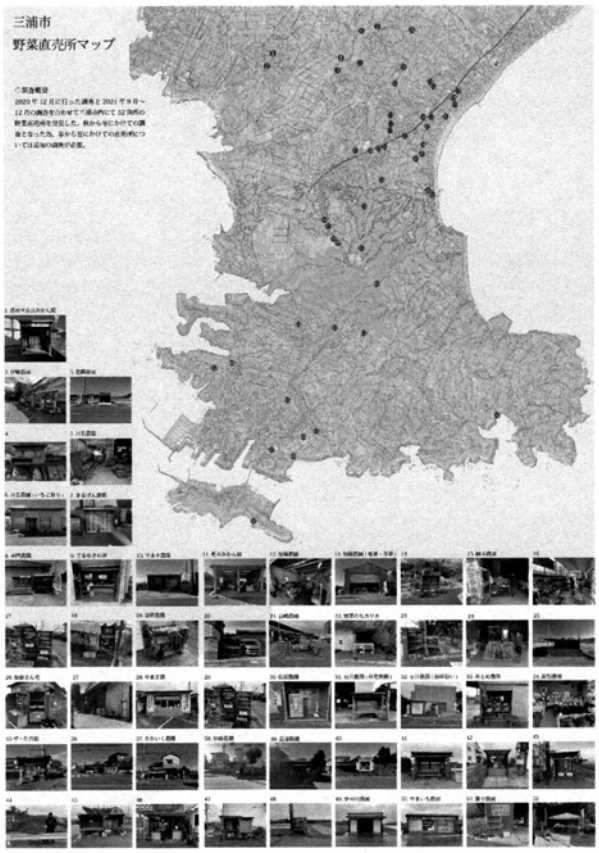


図１　三浦市　直売所マップ

2. 野菜直売所の分類

2.1 概要

52 箇所の直売所を建ち方、棚の開き方、道との接し方で分類を行う。分類したものの分布を調べ、地域ごとの特徴を明らかにする。

2.2 構成の分類

構成の組み合わせを整理すると 19 タイプの直売所があることが分かった。「一体型・1 面開放型・道路隣接型」「入れ子・全面開放型・私有地内設置型」が最も多く、同率で 8 箇所ある。続いて 5 箇所ある直売所の組み合わせが「一体型・1 面開放型・私有地内設置型」「入れ子型・全面開放型・舗道隣接型」「一体型・1 面開放型・舗道隣接型」の計３つ見受けられた。道路隣接型は組み合わせの多さに関わらず、10 タイプの直売所に当てはまる。

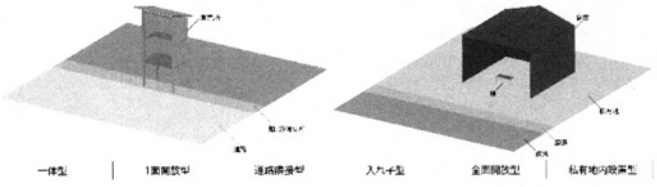


図２ 三浦市に多いＡタイプとＢタイプの直売所

2.3　構成の分布

直売所の構成と分布の関係性について分析を行う。最も多いＡタイプは市内の中央から南部にかけて分布が見られた。同じ数のＢタイプは内陸北部に集まっている。Ｄタイプの分布は国道 134 号線沿いにあり、車通りが多く舗道に接した直売所が集まっている。Ｆタイプは海岸沿いの住宅地に集まっている。

3.アンケート調査

3.1　概要

直売所に関してそのデザインにどれだけ関心があり、野菜を売るということに興味が持てるかなど

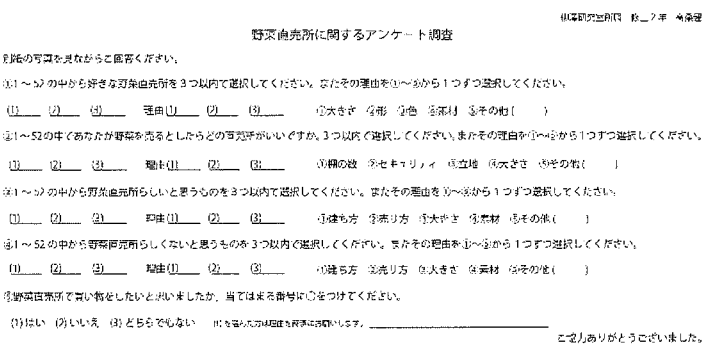
これからの直売所の在り方をリサーチし、デザインの実践に役立てることを目的とする。

3.2　研究対象

関東学院大学建築・環境学部１年生・２年生の学生を対象にアンケート調査を行う。

3.2.1　調査方法

「好きな野菜直売所」「野菜を売りたい直売所」「野菜直売所らしいもの」「野菜直売所らしくないもの」計４つの質問を行う。１つの質問に対して最大３つまで選択可とし、最低でも１つは選択する形式とした。



野菜直売所に関するアンケート調査

次頁の写真を見ながらご回答ください。

①1～52の中から好きな野菜直売所を3つ以内で選択してください。またその理由を①～⑤から1つずつ選択してください。

(1)___ (2)___ (3)___　理由(1)___ (2)___ (3)___　①大きさ ②形 ③色 ④素材 ⑤その他(　　)

②1～52の中であなたが野菜を売るとしたらどの直売所がいいですか。3つ以内で選択してください。またその理由を①～⑤から1つずつ選択してください。

(1)___ (2)___ (3)___　理由(1)___ (2)___ (3)___　①棚の数 ②セキュリティ ③立地 ④大きさ ⑤その他(　　)

③1～52の中から野菜直売所らしいと思うものを3つ以内で選択してください。またその理由を①～⑤から1つずつ選択してください。

(1)___ (2)___ (3)___　理由(1)___ (2)___ (3)___　①建ち方 ②売り方 ③大きさ ④素材 ⑤その他(　　)

④1～52の中から野菜直売所らしくないと思うものを3つ以内で選択してください。またその理由を①～⑤から1つずつ選択してください。

(1)___ (2)___ (3)___　理由(1)___ (2)___ (3)___　①建ち方 ②売り方 ③大きさ ④素材 ⑤その他(　　)

⑤野菜直売所で買い物をしたいと思いましたか。当てはまる番号に○をつけてください。

(1)はい (2)いいえ (3)どちらでもない　※1を選んだ方は理由を教えて頂けます。_____

ご協力ありがとうございました。

図５　アンケート用紙

3.3 集計結果

好きな野菜直売所１位は１年生・２年生ともに自動販売機の直売所であり、選んだ理由では「形」が多い。理由の「大きさ」と「形」の票が多く、合わせると半数以上を占めている。野菜を売りたい直売所１位・２位は順位違いで同じ直売所が選ばれている。No.７は自動販売機の直売所、No.34は倉庫の中を直売所として販売している。自動販売機の直売所はセキュリティの票数が多い。野菜直売所らしいものでは販売する野菜が良く見える直売所が上位に選ばれている。全体の票数は建ち方と売り方を理由に選んでいる傾向にある。野菜直売所らしくないものでは自動販売機の直売所が売り方を理由に選ばれている。全体の票数は建ち方と売り方を理由に選んでいる傾向にある。

4.分類とアンケート結果

4.1 概要

本章ではアンケート結果上位10箇所の直売所がどのタイプに当てはまる構成であるか明らかにすることで、学生の考える良いデザインの直売所像をより具体的にすることを目的とする。

4.2　構成とアンケート結果

好きな野菜直売所・野菜を売りたい直売所・野菜直売所らしくないもの上位に当てはまる構成では「入れ子・全面開放・私有地内設置型」のどれかに当てはまる直売所が多い。組み合わせでは「入れ子型・全面開放型」のものが多く、道との接し方では特定の組み合わせに限らず私有地内設置型が多く見られた。野菜直売所らしいもの上位に当てはまる構成では「入れ子型・全面開放型」が多く、道との接し方では道路隣接型に該当する直売所が多い。

4.3 分布とアンケート結果

好きな野菜直売所の分布図では、両者共に５箇所の直売所が同じであるが全体に分散している。野菜を売りたい直売所の分布図では７箇所の直売所が同じであり、市内北部に多く集中している。野菜直売所らしいものの分布図では９箇所の直売所が同じであり、線路近くの直売所に集中している。野菜直売所らしくないものの分布図では６箇所の直売所が同じであり、主に市内北部の中で分散している。

5　結論

本研究では神奈川県三浦市に点在する野菜直売所のデザインを分析することで、直売所の持つ魅力の一端について明らかにしてきた。

野菜直売所におけるデザインの研究を「構成」と「アンケート調査」によって行ったが、直売所におけるデザインの要素は他にも多数ある。看板やのぼり旗などの「サイン」や直売所に使われている「素材」、販売している「野菜の見せ方」など研究の余地は残されている。消費者が理想とする直売所のデザインを見つけることが出来れば、農家の方はどんな直売所を運営したらいいのか明確にすることが出来るのではないだろうか。今後も研究を続け、魅力的な直売所とはどのようなデザインであるのか考えていく。

参考文献

１）　農林水産省 HP
神奈川県三浦市（maff.go.jp）
２）　加藤靖子、池上甲一：生産者直営型農産物直売所の社会経済的分析-岡山県赤磐市の直売所 A を事例に―
３）　小柴有理江：農産物直売所の展開の特徴と生産者-小規模直売所を中心として-

高速道路サービスエリアにおける新たなデザインの創造
（設計を主とする）

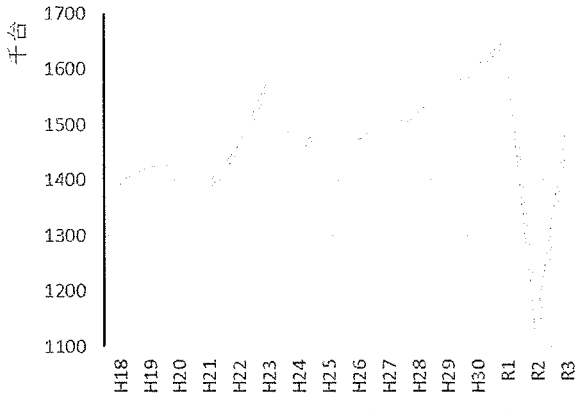
建築学専攻　○田中　亮
指導教授　　柳澤　潤

1　はじめに

現在、日本は自動車の平均保有率が 1 世帯 1 台を超える車社会である。特に自動車は、地方住民の主な交通手段になっており、生活する上で欠かせないモビリティである。また、自動車を利用した物流事業の営業収益は年々増加しており、物流業界から見ても、私達の生活に大きな影響をもたらしていることがわかる。近年では、電気自動車など、自動車の可能性を広げるための様々な開発が進んでおり、今後も車社会は加速していくと考えられる。

そんな中、車の長距離移動で利用される高速道路の全国平均利用台数は令和 3 年 5 月現在、1 日 140 万台を超えている。コロナ禍により、令和 2 年度は減少しているが、利用台数は増加傾向に見られる「**図 1**」。それに伴い、高速道路内の休憩施設である各地サービスエリア、パーキングエリア（以下、ＳＡ、ＰＡ）の利用も年々増加している。休憩とサービスを提供する施設として設置されているＳＡだが、2005 年の施設民営化降、サービスを提供することに力を入れた施設へと展開をみせ、中間地点では無く、目的地となる SA が存在している。さらに、一般道路からも利用できるように駐車場を設けた「ぷらっとぱーく」や温泉施設、都市公園に隣接した「ハイウェイオアシス」（以下 HO）など、SA,PA のサービスは多様化している。

しかし、サービスの幅を広げる工夫をしているものはあるが、多くの既存ＳＡは、均質空間と周辺環境に対して閉鎖的な建ち方をしていると考える。その場のコンテクストを汲み取り、地域や環境との連携を意識した休憩空間や周辺住民が気軽に立ち寄れる地域の拠点のような場にすることはできないだろうか。また、地域と連携することで、周辺住民と高速道路利用者の交流を生み出すことができると考える。



独立行政法人　日本高速道路保有・債務返済機構よりデータ抜粋

図 1　全国平均高速道路　各年度月別交通量（5 月）

2　計画

2.1 敷地選定

敷地は新潟県柏崎市笠島に位置する米山 SA 下り線を選定する。隣接する柏崎市笠島は北西に日本海、東に米山を望む自然に囲まれた場所に位置し、人口 290 人、95 世帯の小さな街である。海外沿いには、多くの研究が成されている米山層が分布しており、地質に富んだ地域である。敷地周辺には、県外利用者を想定した施設が点在していたが、現在は閉館している。その他、観光客向けの施設が存在するが、建設当時の賑わいは失われている「**図 2**」。

2.2 全体計画

地形と国道によって分断された地域と SA を繋ぐと共に、日本海と米山を繋ぐ接点になるよう、海岸まで繋がった空間を作る。空間の中心を通る方角は、夏至に日が沈む方角とし、太陽や地球の動きを感じ取れる空間を作り出す。この空間を中心に、壁を帯状に広げ、様々な自然を切り取ると共に、地域住民や一般道路からの利用者を向かい入れる建ち方となる。

内部空間には、既存 SA の画一的な空間にはない、奥行と抜けを作り出すために、米山の特徴的な地形に沿わせながらスラブを落としていくこと、海に対して平行な壁をなるべく作らないことで、海、地形、山に連続して存在する建築空間が作り出すことができる。海に対して直行する壁は、存在感を持たせ、海や山、地形、太陽に意識を向けさせるため、厚み 500㎜ とする。プログラムは、既存ＳＡのプログラムに宿泊施設と地域住民の集いの場、図書館など、都市的なプログラムを複合する。

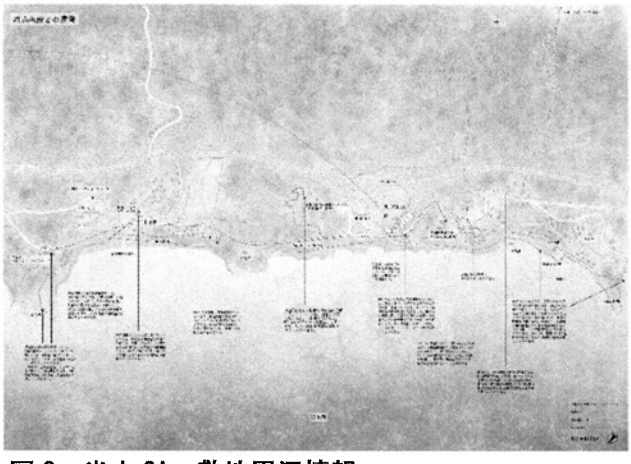


図 2　米山 SA　敷地周辺情報

3　まとめ

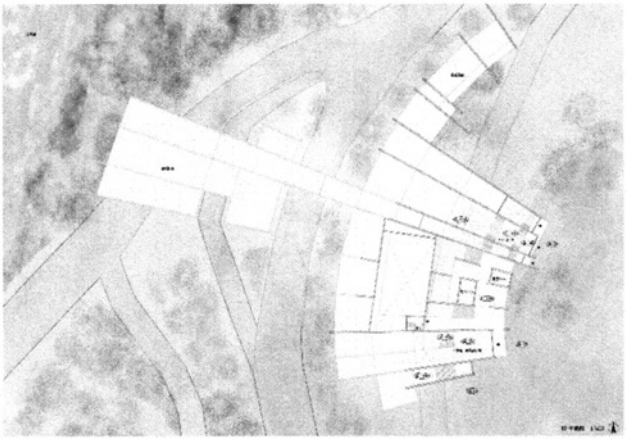
既存SAのプログラムと配置計画の分析から、類似したプログラムと空間配列により、画一的な空間を生み出していると共に、地域連携が困難な計画になっていることが分かった。SA・PAに地域施設を隣接し、利用できるようにしたHOも全国で設置されており、地域連携を意識した取り組みがうまれてきていたが、建築空間に対する工夫はあまり見られなかった。

計画したSAでは、周囲の自然に対しての建ち方や地域との関わりなど、既存SAの画一的な空間とは異なる、奥行きや抜け、自然との関係や地域との関わりを提案した。既存SAの分析で得られた結果から、ほとんどのSAが平等な休養サービスを提供する施設として建設、利用されてきたことが分かる。また、SAは全国各地、様々な周辺環境の中に存在しているにも関わらず、自然に対しては閉じられ、周辺地域に対しては強い境界線が引かれていた。しかし、周辺環境に対しての建ち方や都市的なプログラムを挿入することで、高速道路に存在する孤立しがちな公共施設から、人と自然、高速道路利用者と地域住民を繋ぐ施設へと発展できると考えた。

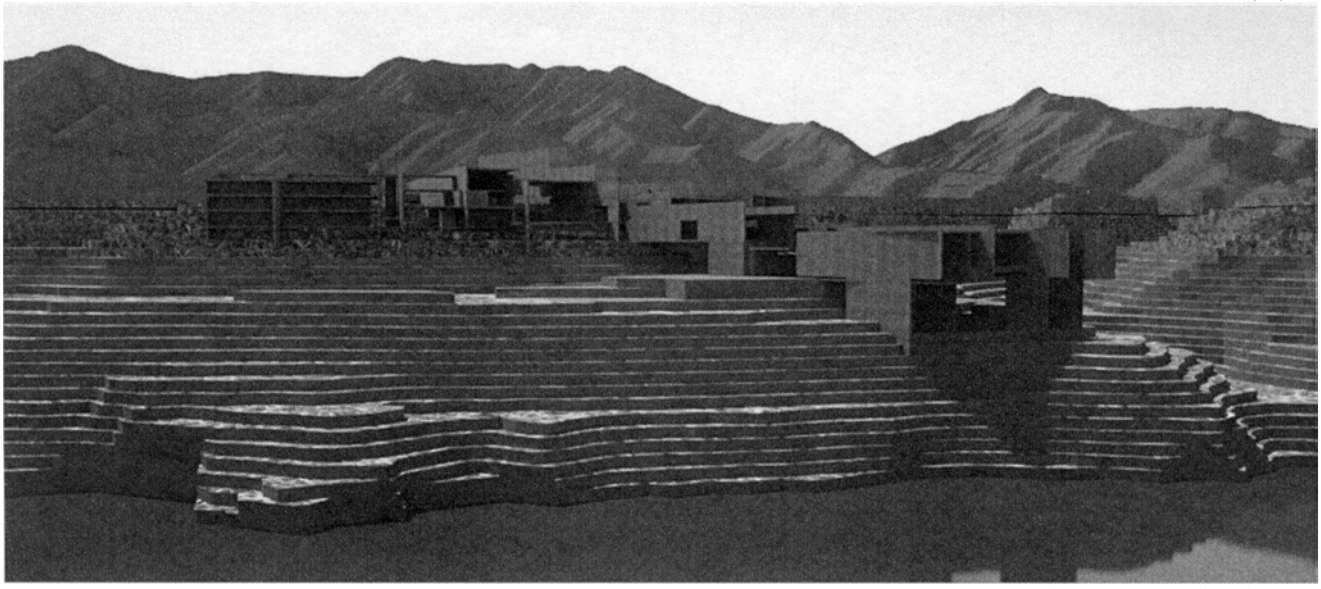
今後は、自動運転の普及など、自動車が変化していくと共に、施設民営化により目的地として認識されはじめたSAが、宿泊やレジャー、地域利用など、さらに多様なサービスを高速道路利用者と地域住民に提供していく施設として発展していくと考える。

参考文献

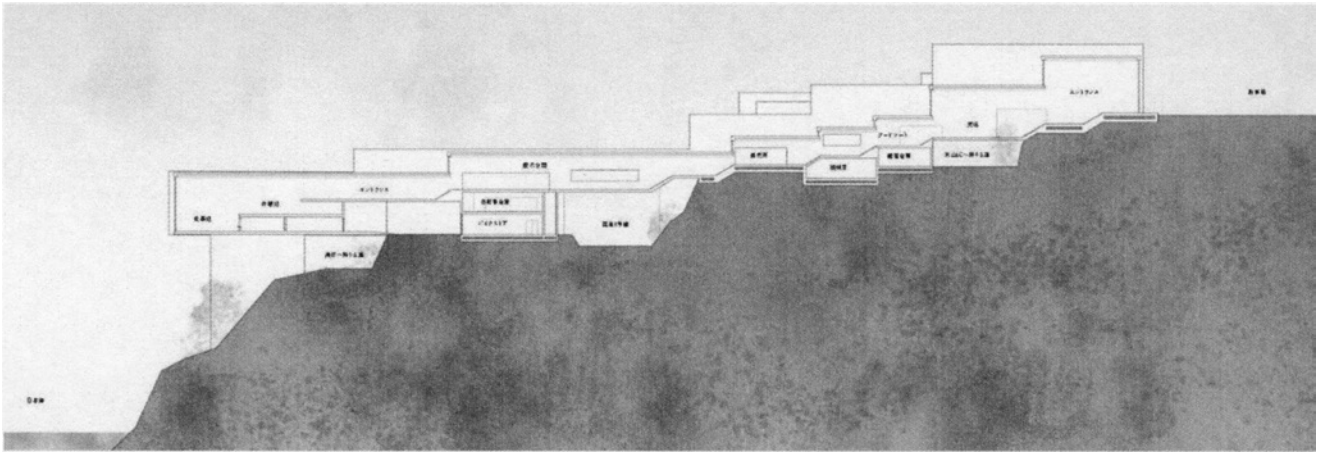
1)昭文社：全国高速道路　付録冊子(2020年6月)　P19-P20
2)橋本　剛志：『サービスエリア・パーキングエリアの地域連携に関する研究』日本建築学会大会学術講演梗概集，(2015年)p461-p462
3)馬屋原　敦、赤木徹也、鯵坂誠之：『高速道路サービスエリアにおける「休憩の質」に関する環境評価項目の妥当性」日本建築学会技術報告集　第20巻　第44号(2014年) p231-p236



1FL 平面図



海から見た外観パース



断面図

鉄筋コンクリート造建築物における地震観測から得られる周期を用いた構造特性の推定

建築学専攻　千葉　香穂
指導教授　渡部　洋

1　はじめに

これまで、大規模な地震が起こった後は、応急危険度判定士が被災現場に足を運び行う応急危険度判定という方法で、地震後の建物の損傷度の把握が行われてきた。なぜなら、地震後、建物の剛性が大幅に低下したにも関わらず、判定が行われなければ、建物内部に人が留まり、その結果、余震による建物の落下物により生じる二次災害に巻き込まれる可能性があるからだ。しかし、大規模な地震が起こった後には公共交通機関や、道路インフラに乱れが生じる。都市部での地震災害では、より多くの混乱が予想され、建物の多さや被災現場に足を運ぶ困難さから、全ての建物の判定を終えるのに多くの時間を要する可能性がある。近年では、建物に各種センサを設置し行う構造ヘルスモニタリングが、地震後の建物の健全性を即時に判定する助けになるのではないかと考えられている。

本研究では、鉄筋コンクリート構造建築物である関東学院大学金沢八景キャンパス５号館(以下５号館)に2019 年 3 月 31 日から設置されている加速度計(センサ)のデータを用いて、建物の構造性能の把握を試みている。コンクリートは応力度－ひずみ度関係が非線形であるため、到達するひずみに応じて剛性が変化する。５号館がコンクリートを主要な材料としている建物であることから、周期の変化から構造特性の把握を試みた。本研究では、3 種の算定周期を求め、各々の周期の特徴を捉えた。また、算定周期と計測震度、経過日数関係から、経年劣化と地震後の５号館の構造特性への影響について検討を行なった。

2　対象建物概要及び周期検討方法

５号館は、2014 年 9 月に竣工し、地上 5 階、地階なし、塔屋 1 階建て、主構造を鉄筋コンクリート構造とし、屋根に鋼構造、5 階柱部分に鉄骨鉄筋コンクリート構造を持つ建築物である。**図 1** に５号館外観を示す。５号館は長方形の平面を有しており、長辺方向をX 方向、短辺方向をＹ方向として検討している。**図 2** に地震計設置位置を示す。地震計は計 6 つ設置し、1～5 階では床面に各 1 台、最上部の地震計のみ 5 階の柱立面頂部に設置し、RF の値として考察している。

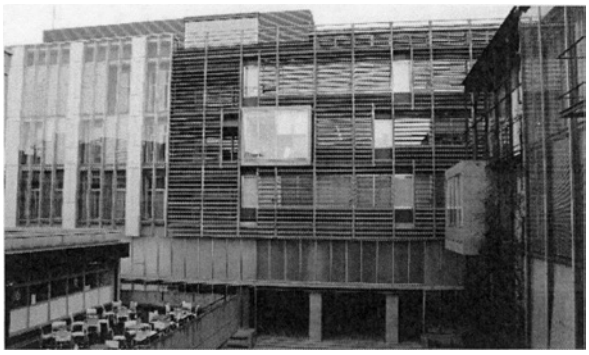


図 1　５号館南側外観

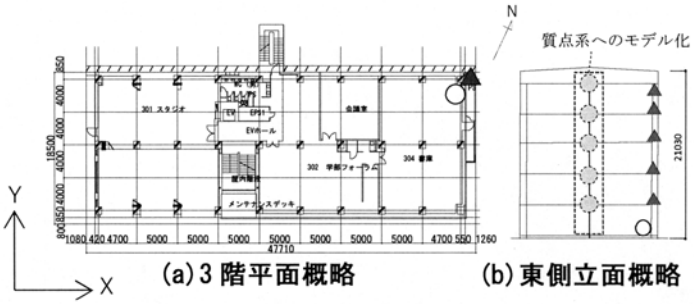


図 2　地震設計位置(△・○)

3.　地震観測記録に基づく検討

3.1　地震記録及び算定周期について

５号館では地震観測開始後、2019 年 4 月 5 日に最初の地震を観測し、2022 日 2 月 1 日までに全 152 回の地震を観測した。本紙では、５号館で観測した計測震度 3 以上の地震記録である、計 36 個の地震を対象として検討を行なった。**表 1** に地震記録として計測震度 4 以上の地震観測記録を抜粋して示す。No.131 は計測震度が最も大きい記録である。

本研究では以下の 3 種の周期について検討を行なう。

ア) フーリエ振幅比の卓越周期(以下 T_F)

イ) ５号館を 1 質点系に置き換えた際の等価周期(以下 T_{e1})

ウ) Structure Monitoring System により検出される Capacity Curve から求めた等価質点の周期(以下 T_{e2})

3 種の周期の求め方のフローを**図 3** に示す。図 3 の方法で求めた計測震度 4 以上の周期を表 1 に追記する。T_{e2}のデータ欠測については、2019 年 8 月 4 日までは、センサ設置方向に不備があったため欠測とし、それ以降では、自動計算が行われなかった 200s 以上の時刻歴の記録が欠測となった。

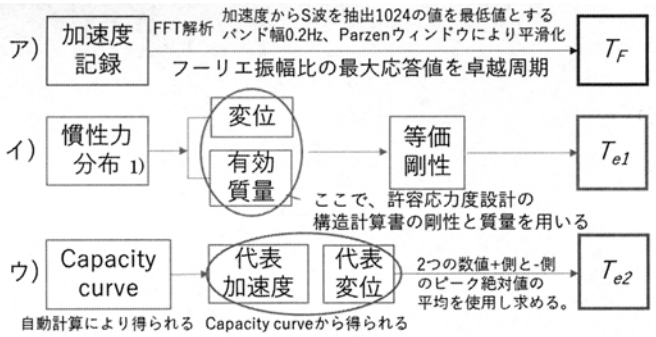


図 3　各周期算定方法

表 1　計測震度 4 以上の地震記録及び周期（抜粋）

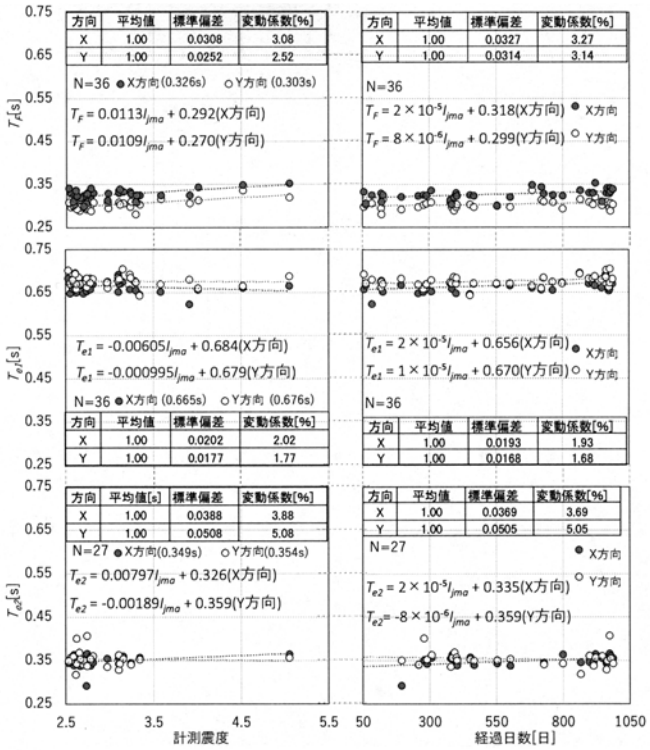
No.	日時	計測開始時	計測震度	震央*	緯度* [°]	経度* [°]	T_F[s] X	T_F[s] Y	T_{e1}[s] X	T_{e1}[s] Y	T_{e2}[s] X	T_{e2}[s] Y
22	2019/8/4	19:24:02	3.58	福島県沖	37.7	141.6	0.325	0.316	0.652	0.670		
100	2021/2/13	23:07:47	4.52	福島県沖	37.7	141.7	0.349	0.336	0.661	0.666		
105	2021/3/20	18:09:53	4.01	宮城県沖	38.5	141.6	0.344	0.313	0.656	0.660		
131	2021/10/7	22:40:07	5.05	千葉県北西部	35.6	140.1	0.353	0.320	0.666	0.688	0.364	0.358

＊気象庁ホームページ　2)

3.2　周期と計測震度、経過日数関係

図 4(a)に周期と計測震度の関係を示し、**図 4(b)**に周期と経過日数の関係を示す。(a)、(b)共に、X、Y 方向の 2 方向について求め、各周期の平均値を凡例に示し、近似式から得られた予測値と実測値の比の平均値、標準偏差、変動係数の表をあわせて示す。3 種の周期の大小を比較すると $T_F < T_{e2} < T_{e1}$ という関係がみられる。T_{e1}が最も長周期である理由として、T_{e1}を求める際に採用している慣性力が必ずしも同時刻ではない絶対値の最大値であり、過大評価していると推察する。T_Fが最も短周期である理由として、フーリエ振幅比は低振幅の値が支配的であり、剛性が高く短周期として評価される。T_{e2} では応答加速度と応答変位のそれぞれの最大値を取ることにより、加速度ピークに比して剛性が低く評価されるため、T_Fよりも長周期となった。図 4 の変動係数を比較すると、(a)、(b)ともに、T_{e1}の値が小さい。T_{e1}を求める際には、構造計算書の質量と剛性の値を用いて、5 号館の層が同一方向に最大の慣性力で移動したと仮定し、1 質点系に縮約するため、変動係数の値が小さいと考えられる。T_{e1}は、許容応力度設計以下での中小地震であれば、検討方法として有用であるが、大地震の場合、降伏後の剛性が明らかでないと他の周期と比較することができない。そのため、損傷限界の算定周期としては T_{e1}を含む 3 種で検討を行ない、安全限界の検討を行う場合は T_F と T_{e2}の 2 種を用いることが望ましいと考えた。

図 4(a)から、各周期について対象地震記録の最小計測震度の周期と最大計測震度の周期の比をとると、T_F 値では、X 方向で 3.5%、Y 方向で 3.9%、T_{e2}値では、X 方向で 5.6%、Y 方向で 2.0%の周期の増加がみられた。また、対象地震記録範囲の近似式の検討では、T_F では X、Y 方向、T_{e2} では X 方向で計測震度の増大に伴う周期の増加傾向がみられたが、T_{e2}のY方向では、計測震度に伴う周期の増加傾向はみられなかった。一方で、最大計測震度と最小計測震度の関係からは、周



(a)周期−計測震度関係　(b)周期−経過日数関係

図 4　周期関係

期の増加傾向が見られたため、微小ではあるが計測震度の増大が周期の増加に影響を与えているといえる。

図 4(b)の近似式から、時間経過による周期の増加は認められないため、著しい経年劣化はないと判断した。図 4(b)の結果から、図 4(a)での周期の伸びは、計測震度に依存する一時的な剛性変化であり、5 号館の継続的な構造性能に影響するものではないと判断した。

4.　結論

計測震度範囲において周期には、$T_F < T_{e2} < T_{e1}$ という大小関係が見られ、周期と計測震度の関係から計測震度の増大により、T_F と T_{e2} は増加傾向が見られた。一方で、経過日数との関係では増加傾向は見られなかった。そのため、5 号館には著しい経年劣化はないと判断した。また、計測震度による周期の増加傾向は、経過日数での周期の増加傾向が見られないため、計測震度に依存する一時的な剛性変化であり、継続的な 5 号館の構造性能に影響するものではないと判断した。

参考文献

1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の等価線形化法に基づく耐震性能評価型設計指針(案)・同解説(2019)
2)気象庁ホームページ:
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html(最終閲覧日 2022/2/3)
3) 2016 年度日本建築学会(九州)構造部門(振動)パネルディスカッション資料：将来の大地震に備える強震観測とモニタリング(2016)

円覚寺舎利殿の振動固有値解析及び弾塑性構造挙動の分析

建築学専攻　塚田　秀朗
指導教授　高島　英幸

1.　研究目的

本研究では,神奈川県で国宝建築物に指定されている円覚寺舎利殿（以下,舎利殿）を対象に,耐震性能の評価を行う。舎利殿は主膳を繰り返して現在の状態を保っているが,老朽化などの影響によって耐震性能が低下が予想される。将来,東海,関東に大地震が発生することが予想されていることから,耐震性能を正確に評価する必要がある。

2.　解析モデル

既往の研究[2),3)]より汎用構造解析ソフトmidas iGenを用いて作成した数値解析モデルを用いて，固有値解析及び静的増分解析を行う。図1に数値解析モデルを示す。円覚寺舎利殿の全体の高さは9.05[m]，X，Y方向の長さは8.13[m]である。材料として杉，唐松，欅，檜[7)]を用いる。杉，唐松，欅の材料定数は文献[7)]より直交異方性を考慮した値を用いる。檜については直交異方性を考慮した材料定数について文献がないため，繊維方向が軸方向と一致していると仮定して，等方性材料として扱う。

3.　解析条件

荷重条件として,屋根の総重量 36.8[kN]を各節点に節点荷重として与える。また，建物全体重量として128.6[kN]が与えられる。支持条件として，全柱脚がピン支持であると仮定する。そして，接合部の回転剛性は，文献[5)]に示される計算式（1），（2）を用いて算出する。固有値解析を行う際に，接合部回転剛性の低減及び柱の断面欠損を考慮した柱の剛性の低減について検討を行うため，それぞれの値について低減係数を適用した解析パターンを検討する。低減係数は1.00,0.75,0.50,0.25の4通りを組み合わせ，解析パターンは16通りとする。

$$K_{\theta b} = {x_p}^2 y_p E_{90} \left\{ \frac{x_p}{Z_0} \left(C_{xm} - \frac{1}{3} \right) + 0.5\mu\, C_{xm} \right\} \quad (1)$$

$$M_{yb} = \frac{K_{\theta b}\, z_0\, F_m}{x_p\, E_{90}\, C_{xm} \sqrt{C_{ym}}} \quad (2)$$

$K_{\theta b}$ ：接合部の回転剛性　$[Nmm/rad.]$
M_{yb} ：接合部の降伏モーメント　$[Nmm]$

写真1　円覚寺舎利殿

図1　数値解析モデル

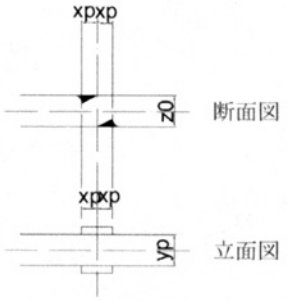


図2　柱—貫接合部[5)]

4. 解析結果

4.1　振動固有値解析

各解析パターンにおける固有値解析の結果から，常時微動観測結果と近似する固有周期を持つ解析パターン（接合部回転剛性低減係数0.50，柱剛性低減係数0.75）が得られた。固有モード形状は，1次固有モードでY方向並進，2次固有モードでX方向並進，3次固有モードでねじれとなり，常時微動観測結果と一致している。固有値解析の結果について、表1に示す。

表1　固有値解析結果

解析パターン	1次固有周期[s]	2次固有周期[s]	3次固有周期[s]
0.50-0.75	0.391	0.375	0.351
常時微動[3)]	0.397	0.383	0.323

4.2　静的増分解析

柱の断面折損を考慮した各解析パターンにおける静的増分解析の結果を図3に示す。

4.3　耐震性能評価

本研究では，一質点系への置換を行わず，解析モデルそのものを用いて応答変位を求める[4)]。舎利殿は1

階建てであるため全体の質量を有効質量とする。耐震性能評価に用いる代表的な変形角として，1/1000，1/500，1/200，1/125，1/100，1/50，1/30，1/20，1/10を用いる。稀に発生する地震（損傷限界）の応答加速度 S_{Ad}，極めて稀に発生する地震（安全限界） 応答加速度S_{As}の式を以下に示す。各方向における応答変形角について表 2 に示す。

$$S_{Ad} = S_{0d} \times G_s \times F_h \times p \times q \times Z \quad (4)$$

$$S_{As} = S_{0s} \times G_s \times F_h \times p \times q \times Z \quad (5)$$

S_{0d}：損傷限界検証用地震[m/sec²]
S_{0s}：安全限界検証用地震[m/sec²]
G_s：表層地盤による加速度増幅率
F_h：振動の減衰による加速度の減衰率
p：調整係数　　q：調整係数　　Z：地域係数

表 2　応答変形角

検証用地震	X 方向	Y 方向
稀	1/880	1/828
極稀	1/176	1/166

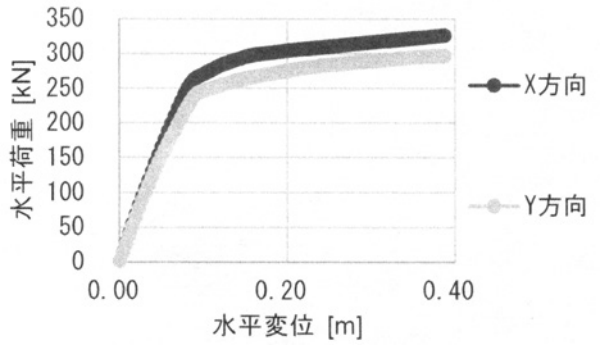


図 3　静的増分解析結果

5.　結論

振動固有値解析の結果から，常時微動観測結果と近似する結果を持つ解析パターンが得られた。そして，耐震性能評価の結果から，稀に発生する地震及び極めて稀に発生する地震に対する応答変形角が得られ，損傷限界変形角 1/120[rad.]以下及び安全限界変形角 1/20[rad.]以下となった。耐震性能評価の結果について，図 4 及び図 5 に示す。耐震性能評価の結果及び関東地震で舎利殿が半倒壊を経験していることから，本研究の数値解析モデルの耐震性能は，実状に即していないことが考えられる。

6.　今後の課題

- □ 礎石による摩擦を考慮した柱脚部水平バネの検討
- □ 柱の断面欠損の詳細な検討
- □ 梁部材及び柱部材の降伏後の強度表現
- □ めり込み耐力を考慮した静的増分解析、限界耐力計算による検討
- □ 実際に発生した地震の地震波を入力した時刻歴応答解析による大地震時の挙動の確認
- □ 多質点系モデルに置換した限界耐力計算による検討

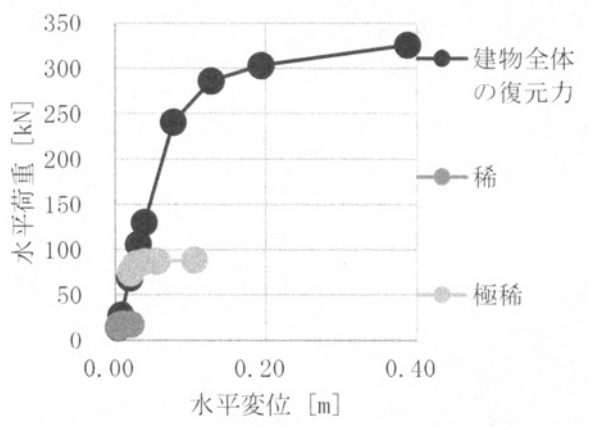


図 4　耐震性能評価（X 方向）

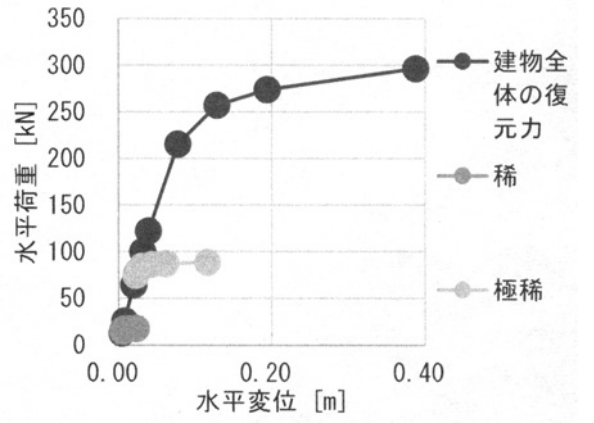


図 5　耐震性能評価（Y 方向）

参考文献

1. 千葉一樹, 藤田香織, 栗山哲：国宝円覚寺舎利殿の構造性能特性, 歴史都市防災論文集 Vol.4,2010 年
2. 小部良明：円覚寺舎利殿の構造モデル化及び弾塑性挙動の分析, 2016 年度修士論文
3. 大越鈴花, 円覚寺舎利殿の接合部曲げ剛性を考慮した弾塑性構造挙動の分析, 2018 年度修士論文
4. 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会：伝統的構法のための木造設計設計法　石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル, 2021 年
5. 日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル, 2017 年
6. かながわ地質情報 MAP:http://www.kanagawa-boring.jp/boring/index.htm（最終閲覧日：2022 年 1 月 18 日）
7. 日本木材学会：木質の物理, 2007 年

遺伝的アルゴリズムを用いた樹木状柱の形態創生
－構造解析結果の評価関数への反映－

建築学専攻　唐　　炳杰
指導教授　高島　英幸

1　序論

本研究は樹木状柱の最適な形状の探索を目的とし，過去の研究 [1] で見た目に関する探索結果を踏まえて，より構造部材としての性能を評価するため，構造解析結果に関する評価手法を検討した．

背景として，樹木は成長する際に効率的に力を伝達できるように枝を分岐する．樹木状柱とは樹木の形状を模倣した構造部材であり，樹木状にすることで大きなスパンや開口を確保できる上，有利な断面を採用できるなどのメリットを持つ．

本研究は樹木状柱を用いた建築空間を提示できる設計支援システムの構築を目標とし，遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm，以下 GA）を用いて最適なモデルを探索するプログラムを作成した．モデル探索の際には，評価関数と呼ばれる最適解の基準を決定する必要があり，本研究は構造解析結果などを含むいくつかの評価関数パターンについて考察する．

図 1　探索結果例

2　研究方法

2.1 樹木状柱モデル

本研究の扱う樹木状柱モデルは各部材が三次元空間内の任意角度に設定できることを想定し，更に GA に対応できるよう，各部材は天頂角変化量 α，方位角変化量 β，分岐する回数 n の 3 つの要素だけ用いて樹木状柱の形状を表現する．

生成にあたり，高さは既往の研究 [2] を踏襲し，$H_1 = 3000, H_2 = 1000,$ 以降 $H_i = H_{i-1} \times 0.85$ とする．

次に根部材の初期値に天頂角 $\theta = 0$，方位角 $\varphi = 0$，分岐数 $n = 3$として与える．

第二層以降の部材は**図 2** で示すように，下層部材の天頂角 θ と方位角 φ に各々変化量 α, β を足すことで角度と座標を求められる．α と β は GA の組み合わせパターンとして扱う．

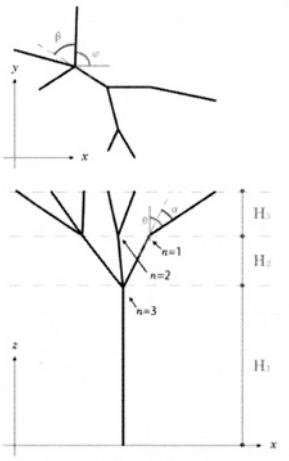


図 2　部材の角度の定義

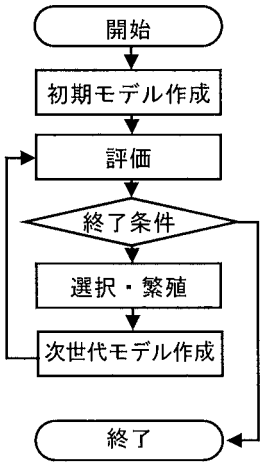


図 3　GA の流れ

2.2 遺伝的アルゴリズム

GA は組み合わせ最適化の手法の一つであり，生物における適者生存と同様の仕組みを持ち，評価が低い組み合わせほど絶滅しやすく，評価が高ければ繁殖する．このような世代交代に連れ，最適とされる組み合わせを見つけやすくなる．

樹木状柱の各部材の角度と分岐数を組み合わせの要素として考える場合，組み合わせのパターンは無限に近いため，GA を用いることで広大な解空間を狭め，効率的に最適解を導き出せる可能性がある．**図 3** は GA の主なフローを示す．

3 結果と考察

3.1 支配面積評価

樹木の成長において，葉同士は日陰ができないように周囲へ均等に枝を伸ばす現象から，天井面部材が均等に配置しているかどうかを評価対象とする．仮に 100m² の天井を微小なエリアに分け，各エリアから最も近い節点がそのエリアの支配節点とし，各節点が支配している面積の合計を計算し，その標準偏差が小さいほど高得点とする．

$$f = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{l}\sum_{i=0}^{l-1}(A_i - \bar{A})^2}} \tag{1}$$

f: 適合度　　A_i: 天井面節点の支配面積
l: 天井面節点の数　$\bar{A}$: 天井面節点の平均支配面積

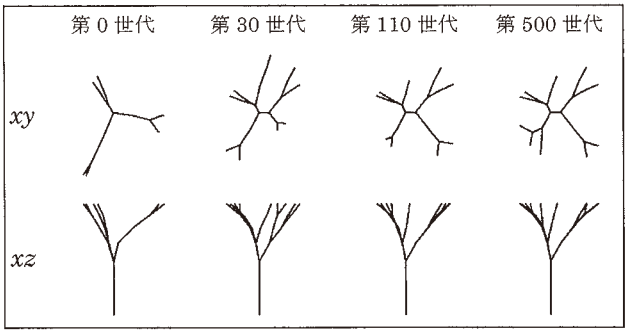


図 4　式(1)の代表探索結果

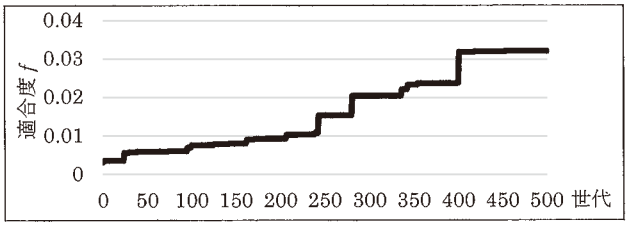


図 5　式(1)の最大適合度推移

3.2 許容応力度検定比評価

天井より 1kN/m² の床荷重と仮定し，各節点に 3.1 節で計算した支配面積に比例して鉛直下方向に載荷する．有限要素法による構造解析を行い，応力度を計算する．式(2)に示すように全体の検定比（応力度÷許容応力度）が低いほど点数を高く評価する．

$$f = \frac{1}{\max\left(\frac{\sigma_b}{f_b}\right)} \tag{2}$$

σ_b: 曲げ応力度　f_b: 曲げ許容応力度

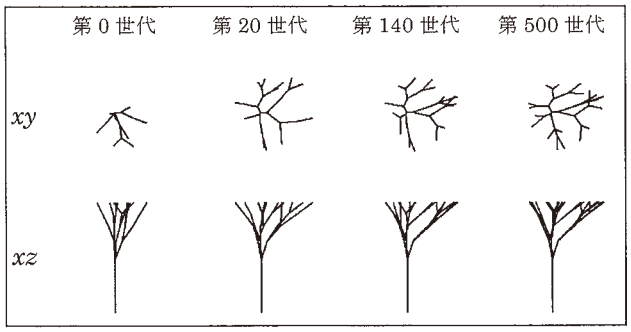


図 6　式(2)の代表探索結果

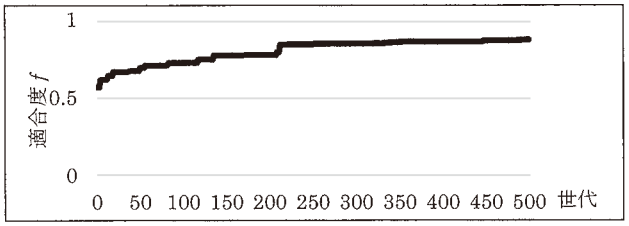


図 7　式(2)の最大適合度推移

3.2.1 考察

式(2)は許容応力度の検定比のみ評価するため，部材を増やして応力度を減らす進化が見られた．

現状のモデルでは天井を表現しておらず，節点間の張力が伝達できず，各部材の構造解析の結果では曲げ応力度が圧縮応力度のおよそ 10 倍以上の部材が多かったため，式(2)では曲げ応力度の評価とした．

3.3 合成評価

$$f = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{l}\sum_{i=0}^{l-1}(A_i - \bar{A})^2}} + \frac{1}{\max\left(\frac{\sigma_b}{f_b}\right)} \tag{3}$$

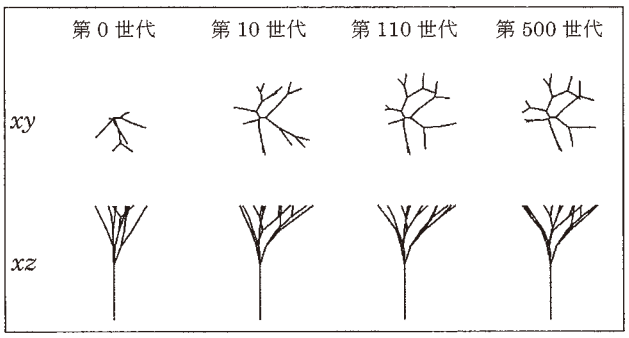


図 8　式(3)の代表探索結果

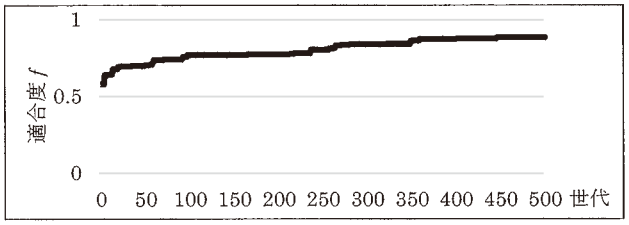


図 9　式(3)の最大適合度推移

3.3.1 考察

式(3)の結果と比べて節点の配置が多少均等になったことが確認できたが，支配面積評価が顕著に探索結果に影響がなかったため，式(3)の各項に違う重さ係数を入れるなども検討したい．

また各評価関数共通して一旦バランスの取れた個体が発見すると，違う形に変化することが少ない代わりに，その形状を最適に進化させている．これは構造的に強くするためには複数のパラメータが絡み合うため，現在の設定では様々な形状を検討させることが難しいと思われる．

このため，今後は見た目のみ適合度で評価し，構造解析して許容応力度を超えないように部材算定してモデルを出力する仕組みを検討している．

構造解析機能は今回の評価関数とともにプログラム内に組み込んだため，応力解析の自動化と大規模に探索して改良すべき部分も今後対応する予定である．

4. 総括

構造解析結果を評価関数に反映し，正しく探索したが，構造性能についての探索は局所解に陥りやすいと思われ，今後は見た目のみ評価し，構造上無理のない場合は断面算定し，モデルを出力できるようにシステムを改良する予定である．

参考文献

1) 唐炳杰：遺伝子アルゴリズムを用いた樹木状柱の形態創生手法の提案. 2019年度関東学院大学卒業研究.
2) 染谷早紀：樹木状柱の形態創生アルゴリズムの提案. 2013年度関東学院大学大学院修士論文.

現代建築にみる「奥」という概念の再解釈と提案
(−原宿・表参道における「奥」を用いた複合建築の設計−)

大学院建築学専攻　○西岡　憲弘
指導教授　柳澤　潤
指導教員　黒田　泰介
粕谷　淳司

1.1 はじめに

日本には「奥深い」や「奥ゆかしい」など「奥」にあるものを意識する言葉が多くある。これは物事の表面とその先にあるものを意識することで生まれるものだと考える。※1 日本の建築においても空間や街並みに対してその考え方が現れており「日本独特の空間概念である「すき間」あるいは「奥性」は、密度が低い時代、場所では、よくその日本的意味を保持し得てきた。」と槇文彦氏が著書「見えがくれする都市」にて語っている。　しかし現代において、そのような日本独特の空間概念の「奥性」を感じることができる場所は減ってきているように思える。時代が変化し建築や都市自体も変化してゆくことは当然だと思うが日本独特の概念や歴史を無視するように作られる現代建築に対して私はどこか疑問を持っている。本研究では表参道の街中にある「奥性」や「奥」を感じることのできる場所をリサーチ・分析し、再解釈することで日本独自の文化である「奥性」の再定義を建築にて試みる。

2.1 日本の「奥性」と「表層」

日本の都市空間における「奥」の思想について槇文彦氏は著書にて「空間のひだ」と呼ばれるレイヤーに「奥」が包まれることで生まれているものだと表現している。その中でも一部の要素を次のように呼称している。
※2「これまでの建築論や都市論には道際に置かれた諸要素の複合全体を呼ぶのに適当な用語が見当たらないので、新たにこれを表層と呼ぶことにする。」
本研究でも建築の道側にある面から街路までの領域にある要素の複合を「表層」と呼ぶ。日本の街路風景は本来、ヨーロッパで見られるような建築と道のような単純な構成ではなく屋根、板塀、庭、木のような要素が共存しそれが何層にも重なったレイヤーが「表層」となり、道との曖昧な関係性を作ることによって構成されていた。

※3 図1 日本の街路風景

※4 図2 ヨーロッパの街路風景

3.1 「奥」の分類

ヒルサイドテラスのシークエンス、平面プランの分析を行いそこから「奥性」を三つに分類した。その分類をもとに今後の調査・分析を行うものとする。
1．物理的な距離による「奥」
物理的な距離を歩いていくことで様々な空間体験、長いシークエンスが生まれ「奥」を感じる。
2．レイヤーによる「奥」
レイヤーを通り抜けることでシークエンスが分節し「奥」が生まれる。
3．時間的な「奥」
隣接する旧朝倉邸や敷地内にある猿楽神社、もともとあった地形に沿っての起伏などそれらの歴史に対する想像から時間的な「奥」が生まれる。

図3 物理的な奥のダイアグラム

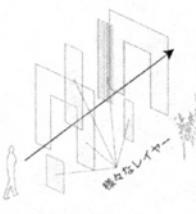


図4 レイヤー的な奥のダイアグラム

図5 時間的な奥のダイアグラム

3.2 調査・分析方法

現代の「奥性」を知るためにエリアでの調査を行なった。調査場所としてかつて明治神宮前の宿場町として栄え、現在でも再開発が行われている原宿駅周辺にエリアを設定する。調査方法としては原宿駅周辺の町を歩き街路風景の撮影を行う。その空間の表層を図化し「奥」と定めた空間までの距離、レイヤー数、感じたことを書き込むことで、その空間を分類した三つの観点から分析をする。

3.3 考察・まとめ

店や住宅が自由に入り組み「空間のひだ」と呼べるレイヤー的な要素が物理的な距離に対して空間体験としての「小さな分節」を数多く生み出している。そこはパブリックな街路でありながら建築ごとの表層にあるプライベートなものによって領域の境界が曖昧になっている。歴史や時間を感じるような要素が点在することにそこで空間に対する愛着や想像などが生まれ「奥性」をこの都市空間に生んでいるのではないだろうか

4.1　建築計画

原宿の都市の内側に存在する「奥性」のある街並みに対して表参道の通りに面したビル群は建築のファサードのみで表層が構成されているものが多いと感。設計するにあたって表参道に面する、建築家によって設計された建築の調査を行った。それぞれのファサードや構成を見ると建てられた建築はモノを「売る」や「見せる」ということに対してデザインされた建築やブランドの広告塔となるような煌びやかなファサードをもった資産としての建築であるように思える。美しくデザインされたファサードと大きく育った欅並木から生まれる街路風景はファッションの街としての都市空間となっているが、多くのファサードがデザインされた面として現れた街路風景だからこそ、どこか美しいもの以外を許さないような都市空間になっているように感じた。日常的な人の営みから外れたその空間は都市としてどこか白々しく、ハリボテのように薄っぺらくすら感じてしまう。その裏側では人の営みが街路風景に現れている。表参道の裏側に人の営みやプライベートな「奥」があるとするならば表参道とそこに面する建築自体が都市の表層であると拡大解釈することが出来るのではないだろか。そう考えると現在の表参道の建築は都市の表層として裏側と分離させるような強すぎるファサードを持っている。そんな都市の表層を切り崩し都市の「空間のひだ」となるような建築を提案する。

4.2　敷地剪定

敷地は多くの建築家たちが設計した商業施設が立ち並ぶ表参道と裏原宿へとつながるキャットストリートに面する広さ1681 ㎡の場所に設定する。敷地には現在複数の中規模ビルや低層の商業施設が建っている場所となっておりそこには飲食店やアパレルショップが入っている。

図 6　敷地図

参考文献

※1※2※3※4 槇文彦(1980)「見えがくれする都市」鹿島出版会　51 ページ、141 ページ
レム・コールハース, 鈴木圭介(訳)(1995)「錯乱のニューヨーク」筑摩書房
芦原義信(1990)「街並みの美学(同時代ライブラリー)」岩波書店
谷崎潤一郎(1933)「陰翳礼讃」角川ソフィア文庫

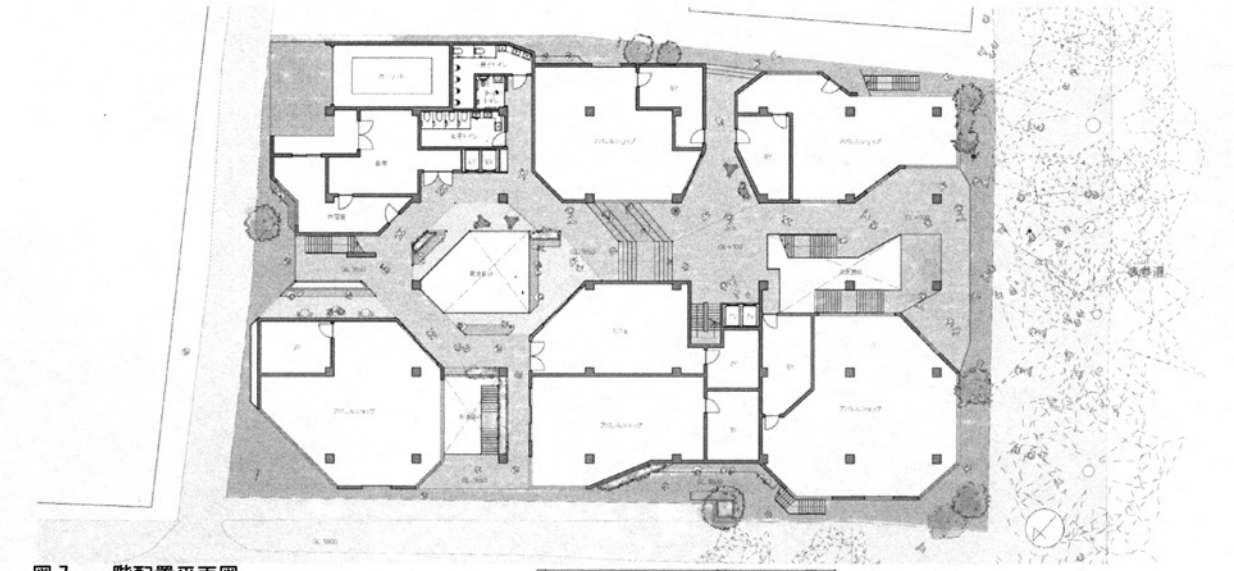


図 7　一階配置平面図

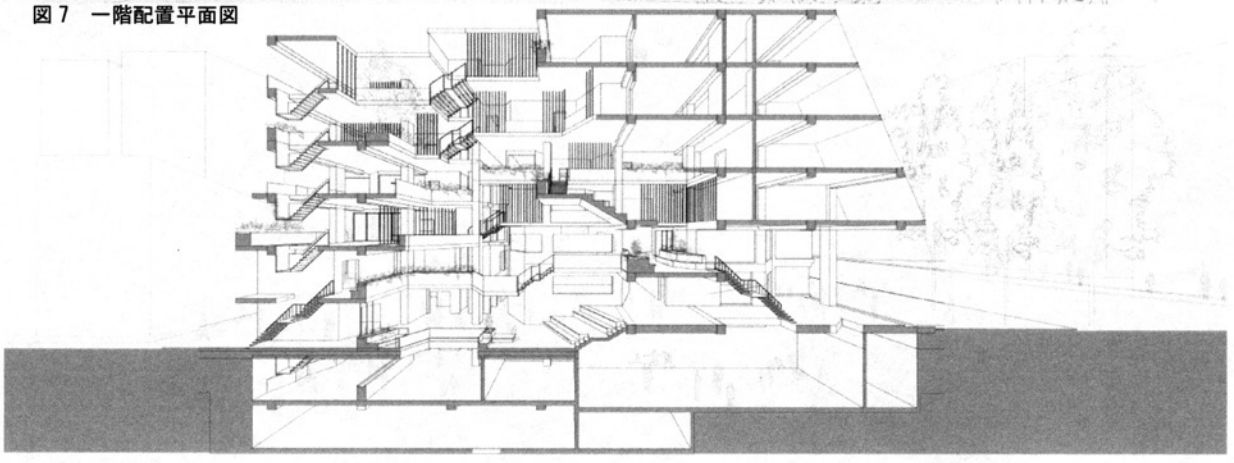


図 8　断面パース

建築デザインにおける素材との対話を通した アブダクションの創造的プロセス

建築学専攻　福間　新
指導教授　柳澤　潤
指導教員　酒谷　粋将

1　はじめに

旧来より建築系の設計教育として、住宅や公共施設などの基本的なビルディングタイプの設計課題に取り組む授業が多くの大学で基幹科目として位置付けられており、学生らの豊かな感性や想像力、表現力が養われている。しかし先述のような創造的飛躍を伴う思考の能力を身に着けさせる上で、所与の建築プログラムを演繹的に解いていくだけの教育の方法には限界もあり、自身の思考の領域を拡げ、新しい知を主体的に探究できる創造的思考の構築が求められる。

一方で、こうした創造的飛躍についての研究は建築分野に限らず、多くの分野で行われている。特にその中でも創造的な推論の形式である「アブダクション（仮説推論）」(abduction)の概念が大きな研究のトピックとしてこれまで注目されてきた。アブダクションとはアメリカの記号学者C.S.パースによって探求された概念で「拡張的推論」とも呼ばれ、演繹（deduction）、帰納（induction）に次ぐ、第三の推論形式として位置付けられており、新しい知識の獲得に繋がる仮説形成を伴う推論の方法である[1)]。

本研究では、素材との対話を通して得た発見をデザインに展開するというアブダクションの推論プロセスと学びの場面に着目し、建築設計のデザインに至るまでの思考過程を読み解くことで建築デザインの初学者がどのようなことに思考を巡らせながらデザインを行っているのかという、アブダクションとそこから展開される創造的思考の具体的な内容を明らかにする。以上から得る知見をもとにして、アブダクション概念に基づいた創造的思考の方法論構築のための知見を得ることを目的とする。

2　アブダクションの概念

パースは、アブダクションの推論の形式をFig.1のように定式化した。本研究では、このアブダクションの形式を定義として、分析と考察を行う。

驚くべき事実Cが観察される、
しかしもしHが真であれば、Cは当然の事柄であろう、
よって、Hが真であると考えるべき理由がある。

Fig.1　アブダクション概念の形式化（CP：2.625）

3　対象授業の概要

一方、関東学院大学建築・環境学部の演習授業である「住宅インテリアデザインスタジオ」では、身の回りにある材料を用いて即興的に実際の空間をつくる課題が最初に与えられ、その成果物の分析を通して各自が発見した方法を、主にインテリアを対象とする建築空間の具体的な提案に結びつける課題が学生らに課される[2)]。授業内の制作過程で学生たちが得た発見からどのような解釈や評価を行い、最終的に空間へと抽出を行ったのかを明らかにするために設計プロセスの変遷の図式化を作成し、具体的な場面を挙げて、「素材の操作」、「解釈・評価」という視点からそれぞれの特性について分析を行った。

4　設計プロセス

4.1　「素材の操作」の特性

(a) 変形

St.3の「モデリング」の工程では、「針金」をくしゃくしゃにする操作によってモデリングを作成し、光を当てる操作を加えることで、「影」が生まれた。そこから、現れた「影」に着目し「針金」のモデリングよりも「影がきれいだ」と感じたことによって、「実物と影のギャップが面白い」という解釈が行われ思考展開のきっかけとなった（Fig.2）。素材に対し変形を行うことで素材の本来の性質を異なるものへと変換している場面が存在した。変形という操作によって、素材の性質や属性を変化させ驚くべき事実の生成へと展開される手法である。

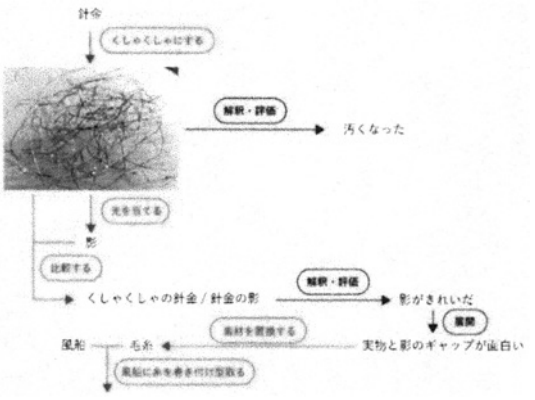


Fig.2 St.3の「モデリング」のプロセスの記述（一部）

(b) 付加

St.1 のちいさな空間の制作では、「自動ドア」に「衣類」を吊り下げることで、空間を異化していたのだが、「糸」で吊るされた「衣類」を「自動ドア」に付加することによって「自動ドア」が開閉するたびに、「衣類」が動くという素材の応答が生まれた。そこから、「動く特性を持つ素材に付加することで、素材に動きを持たせることができる」ことや「吊られた素材の角度によってモノの見え方が変わる」といった発見を得ている（Fig.3）。素材を付加するによって、異なる素材同士の特性が比較されることで、驚くべき事実の生成となって展開された場面である。

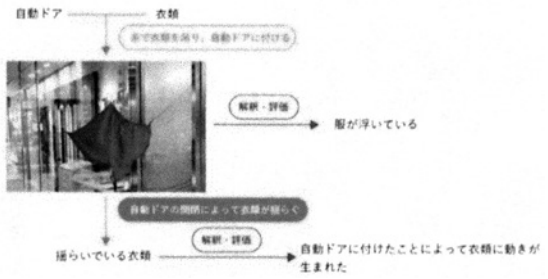


Fig.3 St.1 の「ちいさな空間」のプロセスの記述（一部）

(c) 置換

素材を置き換えたことで、置き換える前の素材と置き換えた後の素材で認識の意外性が驚くべき事実となって生成されたと場面が存在した。

(d) 抽出・抽象化

素材の構造や構成を要素に分けて抽出し、抽出した要素を認識したとき本来の素材と抽出した要素が比較され、その意外性から驚くべき事実の生成へと展開された場面が存在した。

(e) 具現化・生成

素材との対話の中で得た概念を物理的に生み出すことで、物理的に生み出された素材と生み出す前の概念が比較され、驚くべき事実の生成へと展開されたと場面が存在した。

(f) 道具化

素材に操作を加えることで道具化した素材や手法を新たな素材で試したときに現れた異なる現象を比較し、驚くべき事実の生成へと展開されたと場面が存在した。

4.2 「解釈・評価」の特性

(a) 仮説の検証

現れた発見が、素材を変換させたときに新たな「素材からの応答」が生まれるのか、それとも同じような現象が起こるのかといった疑念を生じたことによって、同じ操作で検証を行う場面がある。素材を変換する検証方法は、操作によって生まれる素材の特性を理解する上で重要な手法だと考えられる。

(b) 共通する解釈・評価

素材との対話の中で得た発見から、解釈・評価へと展開されそれらを概念化する工程が存在したのだが、複数の解釈・評価から特性や事柄を抽出し、共通する解釈・評価の特性が一つの概念へと導くきっかけとなる場面が存在した。これらは、複数の仮説を立てて検証を行うことで、一つの仮説が明確化された場面である。

(c) 枠組みとしての概念化

教員との対話に至るまでに学生らは、素材との対話を通して発見した要素を、概念化する場面が多くみられた。素材との対話で得た発見を空間として反映するときに、概念化を試みることで、空間の枠組みやベーステーマとして制作者の思考が展開され、理論の「単純化」が行われる。

4.3 教員との対話による思考展開の分析

対話という形式において客観的視点から、制作者にとって刺激となって思考展開のきっかけとなる場面が存在した。例えば、教員によって概念を空間のテーマとしてではなく、素材の特性へと視点が変えられたことで、素材の特性を生かした空間のコンセプトへと導いている場面や学生が解釈を行った概念に対して、概念の具体化が行われる場面、学生の制作作品に対して教員自身が感じた解釈を学生へ向けて語られたことで、学生が素材の特性をより深く理解するきっかけとなる場面などが挙げられる。驚くべき事実を深く理解するためには、他者からの視点が制作者にとって刺激となって思考展開の役割を果たすことが分かった。

5 まとめと展望

本研究では、アブダクション概念に基づく設計プロセスの場面に着目し素材との対話によって生み出される驚くべき事実の生成のための方法を「素材の操作」、「解釈・評価」という視点から設計プロセスの図式化を基に分析を行った。同時に素材との対話において他者が介入してきたときの効果についての記述も行った。

今後の展望として、アブダクション概念に基づく設計手法の構築と教育論の構築が挙げられる。どちらもアブダクション概念に基づく設計プロセスの実験的な分析が重要である。また、実験的な分析を経て被験者にインタビューやプロトコル分析を行うことで、より設計プロセスの変遷を明確化し、どのような創造的設計手法や教育が効果的であるかを明らかにしていきたい。

参考文献

1) 米盛裕二：アブダクション 仮説と発見の論理, 勁草書房, 2007 年
2) 関東学院大学建築環境学部：住宅インテリアデザインスタジオ授業概要
3) 山口純：C.S.パースの記号論に基づく探究としての設計プロセスに関する研究, 京都大学博士論文, 2014 年
4) 百田有希：建築設計におけるアブダクションの基礎的研究,京都大学修士論文,2008 年

建物の中間領域が室内温熱環境と熱負荷に与える影響

建築学専攻　村尾　俊輔
指導教授　大塚　雅之
指導教員　山口　温

1　はじめに

中間領域とは屋外と室内をつなぐ、どちらの空間でもない曖昧な領域[1)]である。これらの中間領域は縁側や風除室等を効果的に配置することによって日射の制御や室内温度を保ち、冷暖房負荷を抑制する効果が期待される。本研究は、縁側や廊下など室内側の中間領域を「緩衝空間」と定義（**図 1**）し、緩衝空間を有する建物の室内温熱環境を把握し、緩衝空間の空間構成、部材構成、換気量の違いが熱負荷に与える影響を明らかにすることを目的とする。**表 1** に検討項目及び概念図を示す。空間構成の検討は、緩衝空間の有無や配置、建物改修前後の間取りの違い、部材構成の検討では、緩衝空間を構成する部材の違い、建物の断熱性能の違い、夏期の日射遮蔽効果、段階的な断熱改修、換気の検討では、換気回数の違い、外気導入経路の違いを検討する。対象は緩衝空間の用途を考慮して、住宅 2 件、保育施設 4 件の事例 1～6（表 **2**）とする。ここでは、事例 1（以下、G 住宅[2)]）の検討を報告する。

2　シミュレーションによる部材構成、空間構成、換気量の検討

G 住宅は表 1 に示す検討項目のうち、①空間構成の検討（No.1、2）、②部材構成の検討（No.1、3）、③換気の検討（No. 1、2）を行う。

2.1　シミュレーション概要

図 2 にモデルプラン及びスペース割付を示す。検討①-1 はモデル 1、2、検討①-2、②-1 はモデル 1、3、4、それ以外の検討はモデル 1 を用いる。G 住宅の外皮平均熱貫流率（以下、U_A 値）は 0.54W/㎡·K である。検討②-1 は、緩衝空間を構成するアウタースキン（以下、アウタースキン）（U 値：0.70 W/㎡·K）、緩衝空間と居室の間仕切壁（以下、間仕切）（U 値：0.27 W/㎡·K）を単板ガラス（5mm）（U 値：5.90 W/㎡·K）に変更して検討する。開口部（KAIKO1、2）には夏期に 45° のブラインドを設置する。シミュレーション条件は日本建築学会標準問題の戸建木造住宅モデル[5)]を参考とした。最新の気候変動を反映させるため、気象データは 2010 年標準年気象データ（東京）を用いる。居住人数は 3 人を想定し、レースカーテンで仕切られている居室と寝室は相互換気回数を 3.0 回/h とした。検討③-1 は、対象室の換気回数常時 0.5 回/h に加えて、活動時間（8 時～20 時）、に対象室に導入する外

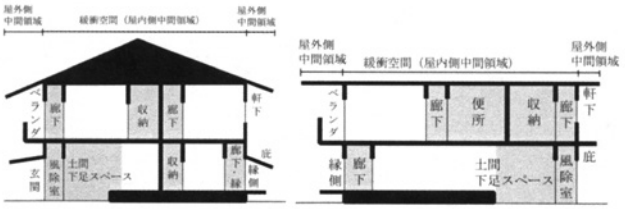


図 1　本研究で扱う中間領域

表 1　検討項目及び概念図

No.	①空間構成	②部材構成	③換気
1	緩衝空間の有無（事例1,6）	緩衝空間を構成する部材（事例1）	改修回数の検討（事例1,3）
2	緩衝空間の配置（事例1,3,4,5）	断熱性の違い（事例2）	外気導入経路の検討（事例1,3）
3	改修前後（事例2）	夏期の日射遮蔽（事例1,2,6）	
4		段階的な断熱改修（事例2）	

表 2　建物概要（事例 1～6）

名称		事例1（G住宅）	事例2（A住宅）	事例3（T幼稚園）	事例4（K幼稚園）	事例5（Hこども園）	事例6（M幼稚園）
所在地		神奈川県横浜市		埼玉県所沢市	神奈川県横浜市	岡山県真庭市	千葉県富津市
建物用途		住宅		幼稚園		認定こども園	幼稚園
構造		木造			RC造	木造	
階数		地上1階	地上2階				地上1階
建築面積		51.6㎡	54.7㎡	444.5㎡	253.0㎡	1535.9㎡	827.2㎡
延床面積		50.0㎡	78.7㎡	885.9㎡	506.0㎡	1685.8㎡	738.3㎡
対象室床面積		16.56㎡	※	52.17㎡	38.9㎡	57.13㎡	49.27㎡
緩衝空間	位置	南側	-	南側、東側	北側	西側	南側、北側
	面積	12.78㎡	-	67.80㎡	1階75.8㎡ /2階65.6㎡	29.65㎡	南側132.29㎡ /北側95.23㎡
	奥行	1560mm	-	2275mm	1800mm /一部3800mm	2150mm	南側3640mm /北側2275mm
地域区分		6地域				4地域	6地域
※リビング30.6㎡、居室1、3 12.4㎡、居室2 14.4㎡							

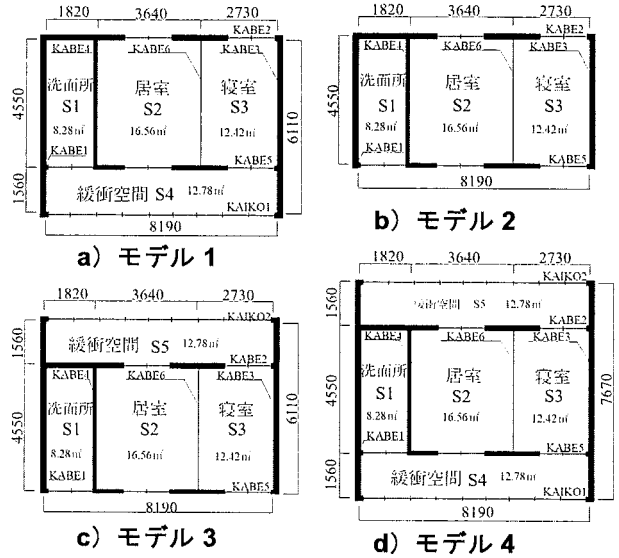


図 2　モデルプラン及びスペース割付

気の換気回数を変化させる（0.5、3.0、10.0 回/h）。検討③-2 は、検討③-1 と同様の時間に緩衝空間へ外気を導入（0.5、3.0 回/h）し、それに加え緩衝空間から対象室に相互換気（3.0 回/h）を設定する。熱負荷シミュレーションには熱負荷計算プログラム LESCOM-mint[4] を用いる。

2.2　シミュレーション結果及び考察

2.2.1　緩衝空間の有無（検討①-1）

図 3 に緩衝空間の有無による年間冷暖房負荷を示す。緩衝空間を対象室の南側に配置すると冷房負荷は 17%、暖房負荷は 10%減少する。

2.2.2　緩衝空間の配置（検討①-2）

図 3 に緩衝空間の配置の違いによる年間冷暖房負荷を示す。モデル 1 と比較し、モデル 3 の冷房負荷は 14%増加し、暖房負荷は殆ど差がない。モデル 4 の冷房負荷は 9%増加し、暖房負荷は 50%減少した。北側に緩衝空間を配置する場合、日射の影響により冷房負荷は増加する。各モデルの比較では、冷房負荷はモデル 1、暖房負荷ではモデル 4 が最も少ないが、それぞれの負荷の削減率からモデル 4 が効果的である。

2.2.3　緩衝空間の部材構成

図 4 に各検討の冷暖房負荷を示す。検討②-1-1 は前項の結果と同様である。冷房負荷は検討②-1-1 モデル 1 が最も少ないが、それ以外の検討はモデル 4 が少ない。暖房負荷はすべての検討でモデル 4 が少なく、各検討モデル 4 の冷暖房負荷の差は小さい。

2.2.4　夏期の日射遮蔽（検討②-2）

図 5 にブラインドの有無による年間冷暖房負荷を示す。ブラインドを設けると冷房負荷は 22.9%減少した。

2.2.4　換気回数の違い（検討③-1）

図 6 に換気回数の違いによる年間冷暖房負荷を示す。換気回数 0.5 回/h と比較し、冷房負荷は 3.0 回/h で 1.2 倍、10.0 回/h で 1.9 倍、暖房負荷は 3.0 回/h で 2.5 倍、10.0 回/h で 7.1 倍に増加する。外気を対象室に直接導入すると、換気回数に比例して冷暖房負荷は増加する。

2.2.5　外気導入経路の違い（検討③-2）

図 6 に外気導入経路の違いによる年間冷暖房負荷を示す。検討③-1 の換気回数 3.0 回/h と比較し緩衝空間を介して外気を導入すると、冷房負荷 18%、暖房負荷 67%抑制される。しかし、緩衝空間に導入する換気量を増加すると緩衝空間の温度が外気温に近づくため、導入する適切な外気との換気回数は緩衝空間の温熱環境を加味しながら検討する必要がある。

参考文献
1）日本建築学会：建築用語辞典 第 2 版 日本建築学会編，岩波書院，p.472，1999.12
2）エネマネハウス 2015：GREEN HAT 2030 関東学院大学 ZEH プロジェクト資料，2015
3）宇田川光弘：標準問題の提案（住宅用標準問題），第 15 回シンポジウムテキスト，pp.24-33，日本建築学会環境工学委員会熱分科会，1985
4）武田仁，磯崎恭一郎：全国気象データと熱負荷計算プログラム LESCOM，井上書院，2017.12

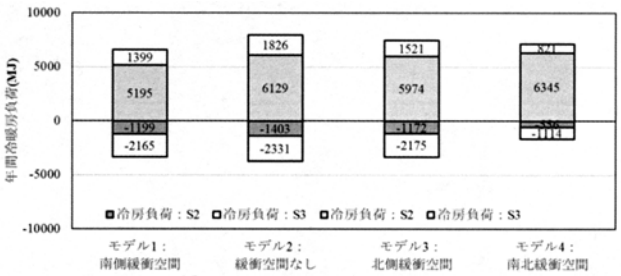


図 3　検討①の年間冷暖房負荷（検討②-1）

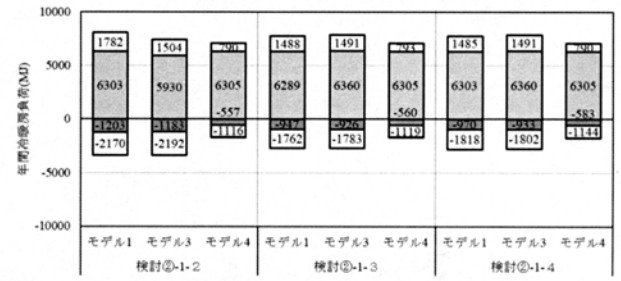


図 4　検討②-1 の年間冷暖房負荷

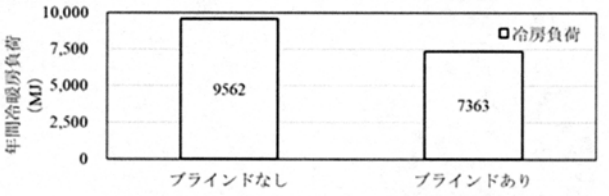


図 5　検討②-2 の年間冷暖房負荷

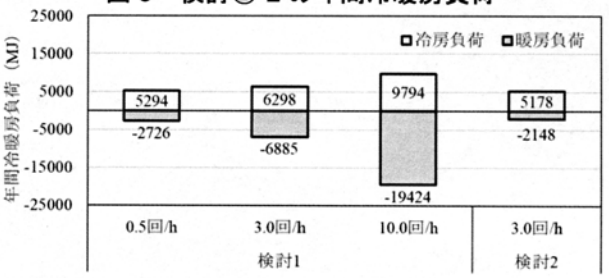


図 6　検討③の年間冷暖房負荷

3　まとめ

本研究は、緩衝空間を有する建物の空間構成、部材構成、換気の違いが熱負荷に与える影響について検討した。研究全体のまとめとして以下に述べる。

・空間構成は、緩衝空間を設けると特に暖房負荷の抑制効果がある。また、改修時の大規模な間取りの変更は熱負荷が増加することがあるため温熱環境も考慮して配置しなければならない。

・部材構成では、高断熱な部材で緩衝空間を構成すると夏期の緩衝空間の温度が上昇してしまうため、緩衝空間の用途によって部材構成を検討する必要がある。また、緩衝空間と居室共にブラインド等で日射遮蔽すると冷房負荷は簡易的に抑制できる。建物全体の断熱性能を向上すると熱負荷は大幅に抑制され、段階的な改修は、屋根の断熱性能を向上させると最も効果が大きい。

・換気では、換気量に比例して熱負荷は増加したが、緩衝空間を介して居室に外気を導入することで特に暖房負荷が削減される。

ハザード評価における地盤情報の補間手法の検討

土木工学専攻　斉藤　正昂
指導教授　規矩　大義

1　はじめに

地震時に発生する災害の一つとして，地盤の液状化現象が挙げられる。液状化現象とは，地震時に砂地盤が液体状になることによって，地盤の支持力が失われ，社会インフラ設備等に甚大な被害をもたらす現象である。近年では，大規模地震に伴う液状化現象の広範囲にわたる被害に対して，液状化危険度を適切に評価したハザードマップの整備が求められている。

液状化危険度を評価する手法は，地盤工学的アプローチと地質学的アプローチの二つに大別され，これらの手法のいずれか又は両方を組み合わせて用いられる。地盤工学的アプローチを代表する P_L 法は，様々な設計基準で採用されている。しかし，我が国では地盤条件が複雑なため，ある程度の修正が必要とされることもある[1)]。

通常，液状化危険度を判定するための地盤情報は，ボーリング調査および標準貫入試験（SPT：Standard Penetration Test）から得られたデータを基にしている。ハザードマップにおいて地盤調査が対象地域を網羅していないことも多いため，既存のボーリングデータから得られた情報を補間して作成される。例えば，液状化指数 P_L を地盤調査が実施されていない地点に補間を行ったり，既往の研究を参考に P_L の算出に用いる地盤要素を推定したりすることもある。いずれにせよ，広範囲に様々な要素を得ることが必要とされる。この課題に対して，液状化判定に必要な要素を適切に補間することができれば，既存のボーリングデータを活用し，広範囲に対する的確な評価を行うことができる。加えて，液状化被害は地形情報と密接に関係していることが経験的に明らかになっており[2)]，地盤工学と地質学の双方から適切に評価することも推奨されている。

本研究では，より工学的に合理的な液状化危険度の面的評価をするにあたり，既存のボーリングデータを補間する手法について検討した。モデルの柱状図を設定し，柱状図から得られた液状化指数 P_L を補間することで面的な液状化評価に対する特徴を考察した。また，最終的に得られる P_L の面的補間だけではなく，液状化判定で利用される地盤情報の補間を行った。柱状図から得られることに加え，液状化判定の重要な要素である地盤情報として N 値と，地盤を構成する土質区分ごとの層厚 d に着目して地盤情報の補間を行った。その結果を用いて液状化判定を行うことで，より緻密に的確な評価を行うことを検討した。

2　研究概要

2.1 地盤・地域のモデル作成

本研究では，観測点として 4 層の地層を有する，深度 20 m のモデル柱状図を仮想的に作成した。柱状図の土質区分は表層に近い側から，埋土（01），緩い細砂（緩い層：02），粘土混り細砂（中密度な層：03），密な細砂（密な層：04）の 4 層として層厚 d を設定した。また，N 値は経験的に得られた土質の相対密度と N 値の関係から範囲を決めて乱数により設定した。評価範囲は一般的に自治体で液状化評価の対象となる 250 m メッシュを基準としている（**図 1**）。

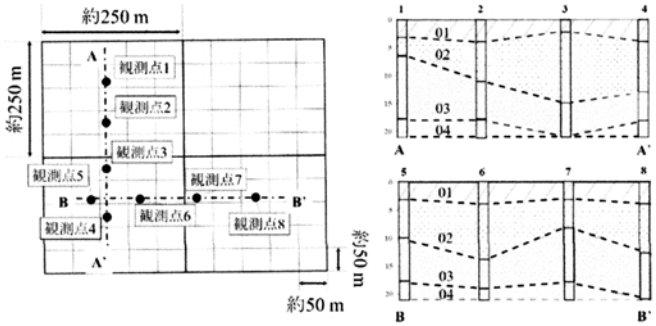


図 1　モデル柱状図の配置間隔と模式図の例

2.2 補間手法の選定[3)]

空間内挿手法は数多く存在するが，なかでもクリギング法は地盤工学での適応例が多い。また，近年の大規模地震の被害把握にも用いられている。こうした利用実績を鑑み，本研究ではクリギング法を用いて液状化危険度の評価を行う。クリギング法の手順では，距離と非類似度の関係を表すバリオグラムの推定と，クリギングの手法の選定を行い，条件や妥当性を確認する。算出式の例としてガウスモデルのバリオグラム（式(1)），単純クリギング法（式(2)）を示す。

$$\gamma(h) = b + (c - b)\left[1 - \exp\left\{-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right\}\right] \qquad (1)$$

$\gamma(h)$　：距離 h における非類似度
a：レンジ　　b：ナゲット　　c：シル

$$z_{SK}^{*} = m + \sum_{k=1}^{n} \omega_k (z_k - m) \qquad (2)$$

z_{SK}^{*}：最良線形不偏推定量
m　：平均　　ω_k　：クリギング係数
n　：データ総数　　z_k　：データ

2.3 液状化危険度の評価

液状化危険度の評価には液状化指数 P_L を利用する。P_L 法は地表面に対して液状化被害が発生する可能性を評価する手法であり，ボーリング調査から得られた地盤情報を基に評価される。そこで，観測点から算出した P_L を補間したものを $P_{L\text{-AVERAGE}}$（$P_{L\text{-A}}$），観測点より地盤情報を補間し，その値を利用して算出したものを $P_{L\text{-MODEL}}$（$P_{L\text{-M}}$）と定義し，双方を比較した。また，面的な液状化危険度を視覚的に理解しやすくするため，地理情報システム（GIS）のアプリケーションである QGIS（ver.3.16.11）を利用して P_L の分布を比較した。傾向や分布について検討を行うことで，地盤情報を補間する手法に対する考察を行った。

3　研究結果と考察

3.1 $P_{L\text{-A}}$ と $P_{L\text{-M}}$ の比較

研究結果のうち MODEL-CASE1 の地震動レベル 2 タイプ I の液状化判定について考察する。2.2 のクリギング手法の組み合わせを利用して補間を行った結果を**表 1** に示す。ここでは，$P_{L\text{-A}}$ と $P_{L\text{-M}}$ を観測点と同メッシュ内の重心における推定値の結果を示している。観測点と対応するメッシュの中心の推定値において，誤差が充分に小さく妥当性が確認できたと共に，液状化危険度の評価においても，基準とされる誤差量が±5 の範囲内であるため許容できると考える。また，全体的に $P_{L\text{-M}}$ の誤差量が小さい結果が得られていることから，地盤情報を補完した際の優位性が高いと考えられる。

次に $P_{L\text{-A}}$ と $P_{L\text{-M}}$ を示した分布を**図 2** に示す。影の濃淡は P_L の大きさを示し，ポイントは観測点の位置を示している。推定点について，$P_{L\text{-A}}$ では特に外挿領域（観測点の外に位置する区域）で周囲と乖離した値も見られた。元来，外挿区域は精度が高くないことからも，地盤情報を補完する必要性が認められる。

表 1　観測点と推定点の P_L の比較

id	観測点P_L	$P_{L\text{-A}}$	$P_{L\text{-M}}$	$P_{L\text{-A}}$誤差量	$P_{L\text{-M}}$誤差量
観測点1	14.240	15.018	15.258	-0.778	-1.018
観測点2	26.369	27.596	26.804	-1.227	-0.435
観測点3	41.384	42.814	41.507	-1.430	-0.123
観測点4	31.177	33.144	33.594	-1.967	-2.417
観測点5	27.237	23.972	26.169	3.265	1.069
観測点6	31.227	32.021	31.583	-0.794	-0.356
観測点7	20.964	22.400	21.369	-1.436	-0.405
観測点8	28.452	28.749	28.544	-0.297	-0.092

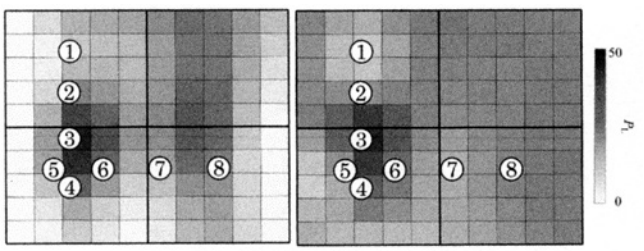


図 2　$P_{L\text{-A}}$ と $P_{L\text{-M}}$ の分布

3.1 $P_{L\text{-M}}$ と N 値，層厚 d の関係性

傾向が顕著な範囲について $P_{L\text{-M}}$ と各地盤情報の関係について示す（**図 3**）。破線で囲まれている部分は，$P_{L\text{-M}}$ が大きいメッシュと，緩い細砂層の N 値が小さいメッシュの組み合わせである。検証の結果から実際に確認されている傾向として，液状化対象層のうち，浅部の緩層の N 値，d 値が密接に関係していることが確認された．また，N 値大きなメッシュでも $P_{L\text{-M}}$ が大きい傾向が確認された。このメッシュでは緩い層のメッシュが比較的大きく，また，液状化しやすい層の層厚が大きいことが確認された。このことから，N 値以上に層厚 d と $P_{L\text{-M}}$ の大きさに強い関係が見られる。地盤情報を補完したところ，外挿範囲においても複数の要素を背景に液状化評価ができることで，より的確に P_L を評価できると考える。

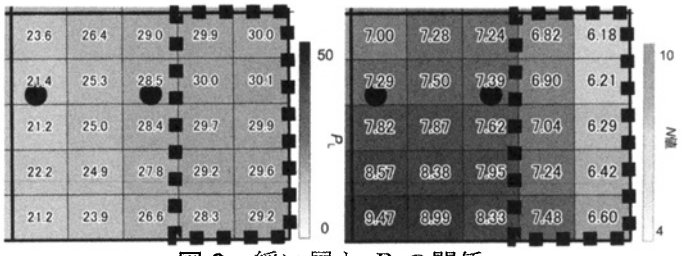


図 3　緩い層と P_L の関係

4　おわりに

本研究では，地盤モデルを対象に P_L の補間と地盤情報の補間によって，より工学的に合理的な補間手法の検討を行った。液状化判定がされた P_L を補完する方法に対して，地盤情報を補完したうえで液状化判定を行う優位性が確認されたと考える。しかしながら，本研究ではある程度限られた評価範囲に対して液状化判定を実施していることから，実際の地形・地盤で検討するうえで以下の課題があると考える。

- 微地形区分の判定領域の大きさから 250 m メッシュを基準に評価範囲を取ったが，実際には相関が取れる評価範囲を設定する必要がある。
- 観測点を得るうえで均等なデータ間隔は理想であるが，一定数のデータを密集しない範囲で得ることで地盤の不均一性を再現できる可能性が高い。
- ボーリング調査間にある程度の連続性があることが前提だが，実際には，柱状図や旧版地形図を利用し妥当性を確認することが必要であると考える。

参考文献

1) 安田進，石田栄介，細川直行：液状化のハザードマップにおける作成方法の現状と問題点，土木学会論文集 A1（構造・地震工学）,Vol.65，No.1，pp.188-194，2009.
2) 松岡昌志，若松加寿江，橋本光史：地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法，日本地震工学論文集，11 巻，2 号，2011.
3) 阪田義隆：クリギング入門-空間データ推定の確率論的アプローチ，コロナ社，2021.

動的貫入試験における水圧応答を用いた地下水位の簡易推定法

土木工学専攻　高野　龍仁
指導教授　規矩　大義

1　はじめに

地震時の液状化予測に用いる「F_L法に基づく液状化判定」においては，地下水位を把握することが必須である。予測に用いる物性値は一般に，標準貫入試験と物理試験を併用して求め，地下水位は，孔径が大きく，孔壁が保護されているため，原則として無水掘りで直接確認する。一方，地域防災の視点から調査頻度を高めたいときに，標準貫入試験は決して簡便で安価とは言えず，経済的に調査点数を増加させる手法が多く提案されている。PDC（Piezo Drive Cone）はその一つで，コーン先端に耐衝撃性の高い小型水圧計を有する動的コーン貫入試験装置であり,液状化判定に用いる全ての物性値が，貫入試験と同時に測定及び推定可能であり，簡便かつ安価な調査法として，近年，急速に普及している。地下水位に関しては，PDCのみで推定する方法は，実務レベルでも推定精度が不足している。そのため，試掘段階での目視による確認が推奨され，それができない場合は試験終了後，ロッド回収時の周面の濡れ具合や，完全に回収したあとの孔を利用して確認が行われる。これらは，簡易な方法ではあるが，孔壁の崩落や毛管上昇等に影響されて大きな測定誤差が生じる可能性も高く，地下水位測定用に別孔を設けることとなれば，コストが増加する。そこで，他の地盤パラメータ同様に，地下水位を直接，正しく推定することができれば，液状化判定の効率化，迅速化に寄与でき，広域の調査における，面的な高精度化と費用の低廉化が実現すると考えた。

本研究では，実務において適用可能で，現場のオペレーターが，直感的に地下水位を把握できる簡易な推定法の提案を目的とする。

2　既往の推定法

PDCでは，打撃前水圧（u_S）と打撃後水圧（u_R）は地下水位以浅では負圧を示し，以深では正圧を示す傾向がある。規矩らは，負圧から正圧に転ずる点が地下水位と相関性が高いとし，均質な砂質土地盤では良い結果を得ている[1]。ただし，一般的にu_Sに関しては，正圧に転じた後，静水圧に近似する値を示すとされているが，細粒分の多い地盤などでは消散が間に合わず，残留水圧が累積し，ロッド継ぎ足し時や，細粒分の少ない土質に切り替わった際に，完全消散する傾向が調査結果から確認されている。次に，規矩らは，打撃時の衝撃圧を含めた最大値である最大過剰間隙水圧（Δu_{max}）について，全上載圧で除した最大過剰間隙水圧比（$\Delta u_{max}/\sigma_v$）が0に収束する深度が，地下水位と関連していると考えた。そして，いくつかの地点で良い相関性を得ている[2]。また，山内による研究では，$\Delta u_{max}/\sigma_v$の深度分布図より，地下水位以浅と以深で，勾配が急変するという仮説のもと，最大曲率点を近似線より求め，地下水位とする推定法を検討し，模型地盤と，いくつかの砂質土地盤で良い傾向を得ている[3]。

3　推定法の概要

本研究では，既往の推定法のように精度向上のために適用範囲を絞ったり，場合分けを増やすことなく，普遍的で一貫した推定法をu_Sの深度分布図より見いだすことを目的とする。そこで**図1**に示す，静水圧の深さ分布を表す一定の勾配の線分を静水圧線と定義し，累積と消散を繰り返す波形の合間で確認される，1打撃ごとに水圧が消散し，静水圧の増分のみが記録されるような，静水圧線に近しい勾配を示す区間を近似勾配と定義する。ここでは，その中でも，見掛け上静水圧線に完全一致する区間を選択し，静水圧線を当てはめ，負圧に転じる深度を地下水位面と推定した。なお，近似勾配を求める区間長は様々であるが，ここでは0.1m程度の深度差であっても静水圧変化を捉えられると仮定した。また，静水圧線を地表に向けて延長するため，地下水位以深から打撃が開始されているケースでも推定可能とした。複数ある近似勾配に関し，地表面から順に静水圧線を当てはめていくが，推定された地下水位が負の値となった場合は，その次の完全一致の近似勾配から得られた値を推定地下水位とする。以上の条件を付して30地点の結果を整理した。これを便宜上手法①と定義する。

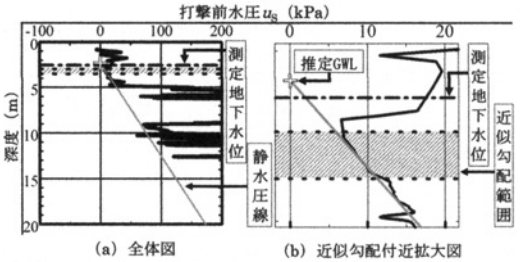
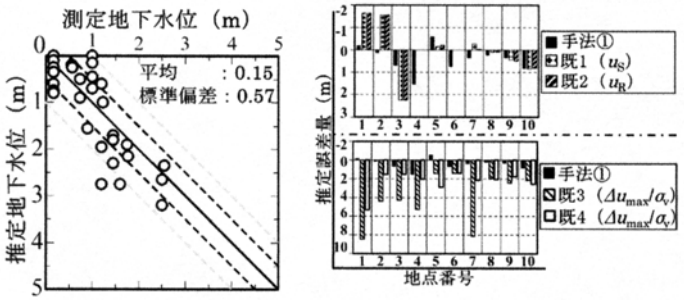


図1　地下水位推定法（手法①）

4　推定結果と考察

地下水位の実測値とu_Sの深度分布図から推定した地下水位（推定値）の関係図を**図2(a)**に示す。実測値との誤差量(推定誤差)に関しては，約9割の地点が±1mの範囲内に収まった。また，実測値よりも深く推

定する傾向が優勢だが，実測値の深度に誤差量が比例する傾向は見られないため，一定誤差と捉えて推定可能と考えた。次に，手法①の妥当性を確認するため，既往の 4 つの推定法の条件とも一致する 10 地点を抽出し，推定結果の比較を行った。**図 2(b)**より，u_S，u_R による推定は，適用不可の地点が 2 点あり，$\Delta u_{max}/\sigma_v$ による推定は，全地点で適用可能だが，実測値より深く推定する傾向が強いため，適用範囲と，誤差量という観点から，手法①に優位性があることが確認された。しかし，この推定法は機械的に全体の勾配変化と異なる線分を選択するケースもあり，恣意的な推定との指摘を回避するためにも全体的な勾配の変化を考慮して推定する方法への見直しが必要であると考えた。

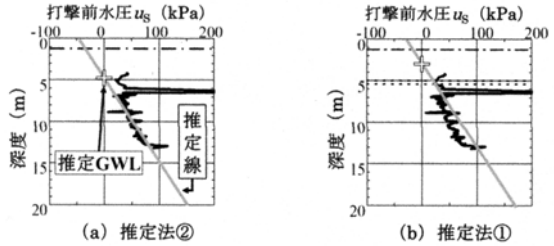


（a）測定値と推定値関係図　（b）既往の研究との比較結果

図 2　推定誤差と評価（手法①）

5　推定法の改良

ここでは，先に着目した近似勾配に加え，消散後の値がおおよそ一定の勾配で増加し，u_S の深度分布図における全体的な勾配変化を表していることに着目して，先の推定法（手法①）の改良を検討した。改良した推定法（手法②）は，**図 3(a)**に示すように近似勾配と，u_S の消散後の値を平均的に結ぶような線分（以下，推定線）を引くことで，全体の勾配から静水圧に近しい勾配を捉え，その推定線が負圧に転ずる深度を地下水位とするものである。**図 3(b)**に示す手法①で問題となった地点と比較して，勾配の一致具合が良好になっていることが分かる。推定条件は手法①と同様とした。

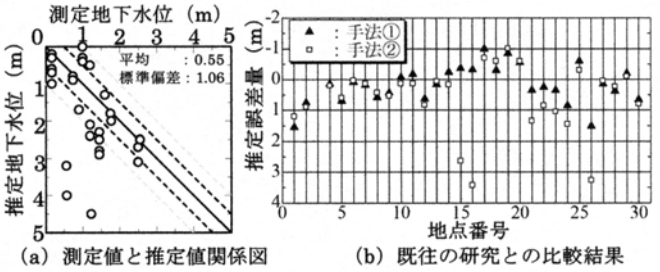


（a）推定法②　（b）推定法①

図 3　手法②での地下水位推定法

6　改良された推定法の結果と考察

手法②による実測値と推定値の関係を**図 4（a）**に示す。推定誤差に関しては，約 8 割の地点が±1m の範囲内に収まり，地下水位の深度に左右されずに推定できる点は，手法①と同様の傾向である。また，手法①で問題となった勾配の一致具合に関しては，図 3 に示すように改善されていることが確認された。そこで，各地点の推定誤差量の変化を確認するため，手法①と手法②で比較した結果を**図 4（b）**に示す。手法②は，手法①よりも比較的深く推定する傾向はあるものの，全地点で推定可能であり，恣意的とみられる推定を回避し，現実に即した推定が可能であるといえ，総合的に見て，実地盤への適用性が向上していると考えた．



（a）測定値と推定値関係図　（b）既往の研究との比較結果

図 4　推定誤差と評価（手法②）

7　提案する推定法の有効性について

ここでは推定誤差が液状化判定に与える影響について検証する。砂質土地盤と埋立地盤のモデルを，N 値だけを増加させ，計 10 パターンに変化させたものを利用し，地域別補正係数が 1.0，Ⅲ種地盤におけるレベル 2 地震動（タイプ 2）を想定した液状化判定を実施した。その際，地下水位に関しては GL-1.0m から GL-3.5m まで，0.5m ピッチで 6 段階に変動させた。地下水位の誤差による液状化指数 P_L への影響については，砂質土地盤よりも層序の複雑な埋立地盤のほうが影響は大きいが，大きな違いが生じるのは，元々の P_L 値が 20 以上の地盤であり，元々液状化対策を検討する必要性が高く，手法②による誤差によって防災面で安全性を損なうことはないという結論を得た。

8　まとめ

PDC の試験結果のみから地下水位を推定する方法として，打撃前水圧（u_S）の深度分布図から，普遍的かつ一貫した手法での推定法を提案できた。手法②は，全体の勾配変化を考慮でき，紙とペンで推定可能なため，オペレーターが直感的かつ容易に利用可能な簡易推定法だといえる。また，手法②の誤差量が液状化指数 P_L に与える影響が実用上は問題ないと検証されたため，実務への適用性はより高まったと考えられる。

参考文献

1）　規矩大義，東畑郁生，澤田俊一，藤井紀之，吉澤大造，三上武子：動的貫入試験による経済的で高精度な液状化調査法の研究開発，国土交通省建設技術開発研究助成金成果報告書，pp.56-59，2014.
2）　澤田俊一：間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法―その 5　地下水位―，土木学会第 60 回年次学術講演会，pp.961-962，2005.
3）　山内涼太：動的コーン貫入試験から得られる水圧応答を用いた地下水位の推定方法，関東学院大学大学院修士論文，2021.

貫入試験装置の先端に内装した圧力計の間隙水圧応答に関する実験的研究

土木工学専攻　安田　　承
土木学系　規矩　大義

1　はじめに

近年，気候変動の影響により，記録的な豪雨が頻発しており，土壌の表層部分が崩れ落ちる表層崩壊が数多く発生している。表層崩壊の発生要因として，雨水の浸透水によって間隙水圧の増加に伴う，有効応力の低下による，せん断抵抗力の減少が最も大きな要因とされる。降雨により，線路周辺の斜面に変形が生じ，斜面が崩壊した事例が毎年100件以上発生しており，鉄道沿線で発生する自然斜面や切土斜面の表層崩壊を未然に防ぐため，確実に危険な箇所は防護工によるハード対策を施し，崩壊の予測を雨量による管理で行っている。しかし，民間の所有地もあるため，対策を行えない箇所もある。鉄道の安全を確保するためには，崩壊の危険性が高く，地盤強度が劣化している箇所を調査しなければならない。急傾斜地では簡易貫入試験機による地盤強度の調査[1]が行われているが，地下水位の位置を把握する調査は行っていない。そのため，地盤強度に加えて地下水位も把握することができれば，斜面の劣化評価が詳細に行うことができ，効率よく安定した調査をすることが出来る。そこで，本研究では「地下水位検知型の簡易貫入試験機」を構想し，先端に水圧計を内装したプローブを開発した。水圧計の装着位置や打撃方法などの検討を経て，地下水位の変化に対する水圧測定の課題点，これまでの多くの調査が行われている従来型の測定実績のデータと整合性を図るため，従来型との互換性について検証を行うため，模型地盤による貫入実験を行った。

2　研究概要

2.1　先端プローブの開発

地盤内の間隙水圧応答を検知するため，貫入試験機用のロッドに接続できる水圧計を内装したプローブの試作した。装着方法はいくつか考えられるが本研究では開放型の試作プローブAと密閉型の試作プローブBでの装着で検討を行った。貫入装置の仕様を**表1**に示し，試作プローブの概略図を**図1**，**図2**に示す。

表1　貫入装置の仕様

貫入装置		従来型		試作プローブA		試作プローブB	
ハンマー	質量 M　(kg)	2.5kg					
	落下高 h　(mm)	110	220	100	200	45	90
コーン	先端角 φ　(°)	60		90			
	直径 Dc　(mm)	30		28.6		19	
	底面積 Ac (mm²)	707		642		283	
ロッド	外径 Dr　(mm)	25		28.6		19	
打撃エネルギー（ハンマーの位置エネルギー）	M・g・h　(J)	2698	5396	2453	4905	1104	2207
単位体積当たりの打撃エネルギー	$\frac{M \cdot g \cdot h}{A}$　(J/mm²)	3.82	7.63	3.82	7.64	3.89	7.79

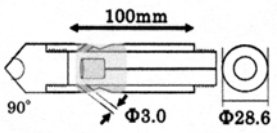


図1　試作プローブA

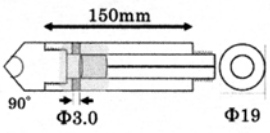


図2　試作プローブB

2.2　模型円筒土槽

本実験で用いた模型円筒土槽の概略図を**図3**に示す．円筒はアクリル製であり，直径0.2m，高さ1mで模型地盤用と水位調整用の円筒が下部で接続されている。模型地盤用には目視で地下水面が確認できるよう，外付けのピトー管が取り付けられ，ピトー管が示す水位を地下水位として実験を行った。

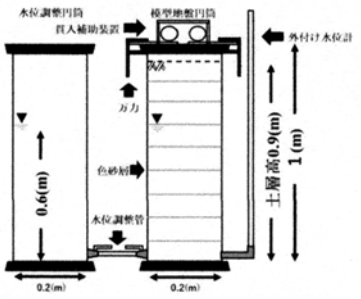


図3　模型円筒土槽概略図

2.3　地盤材料

模型地盤の作製に使用した材料は6号珪砂と，7号珪砂と8号珪砂を混ぜ合わせたブレンド砂である。各試料における粒径加積曲線を**図4**に示す。

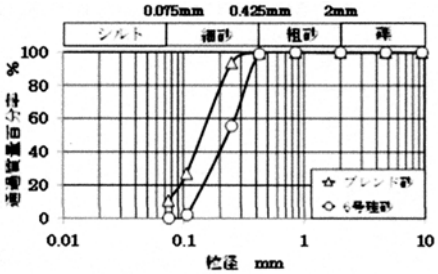


図4　粒径加積曲線

3　実験方法

3.1　模型円筒土槽の作製

図3のアクリル製円筒に，**図4**で示した地盤材料を相対密度Dr=50%になるように水中落下法にて投入した．地下水位を地表面から0.3mの深さに設定し，0.3m以浅は不飽和状態とした。

3.2　貫入実験

打撃貫入時に，模型地盤に対して垂直にロッドが貫入されるよう，固定冶具を設置し，打撃エネルギーの異なる実験条件（**表2**）で貫入試験を行った。

0.1mの貫入に要した打撃回数と，間隙水圧応答を計測した。なお，打撃時に発生した過剰間隙水圧が消散するまでの間も連続計測を行った。

4　実験結果

物性値が既知な模型地盤でA，Bの異なる2つのプローブを用いた貫入実験を行った。得られた結果を以下にまとめる。

4.1　間隙水圧応答の機能確認

図5，**図6**に各プローブを用いて得られた各深度の静水圧観測結果を示す。両者とも，6号珪砂は精度良く観測できている。一方で，ブレンド砂では測定にばらつきが生じている。毛管上昇の影響でサクションの発生し，僅かに水圧の値が低下しているが，地下水位を把握できる誤差範囲内のため，十分精度が良い測定が行われいる。また，打撃エネルギーの違いによる水圧の測定に大きな影響は見られなかった。

4.3　過剰間隙水圧の消散時間

図7，**図8**には，同じ地盤条件でプローブが異なる実験における間隙水圧の時刻歴を示す。プローブAの水圧計は，先端コーン内に点留めで装着されている開放型であり，中空ロッド内に水が浸透することにより間隙水圧の応答を検知することが出来るが，その後の過剰間隙水圧の消散では地盤内の水位とロッド内に圧力が上昇した間隙水が流入するため，それが物理的に流出するのに時間を要する。それに対して，プローブBは地盤に直接接しているだけなので，地盤の過剰間隙水圧の消散を直接捉えているため，短時間で消散している。

4.3　貫入抵抗の比較

Dr=50%の模型地盤において，各深度の貫入抵抗を有効拘束圧の関係で表したものを**図9**で比較する。貫入抵抗はコーン先端径に影響されるため，実験結果では，従来型が抵抗が少なく，試作プローブAが抵抗が大きい．試作プローブAでは打撃エネルギーが小さい貫入が深度に依存し抵抗が増加し，拘束圧が大きいほどその倍率が増える傾向にあった。その他の実験条件では打撃エネルギーが異なっても拘束圧の依存性は大きく表れていないことから，倍率を変えて貫入抵抗を求める必要なく，得られた貫入抵抗に補正をすることにより互換性を得ることが可能だと考えられる。

5　まとめ

本研究では，斜面の崩壊が予測される危険性の高い箇所で地下水位の変動を調べるための貫入試験機を構想し開発を行った。試作したプローブから以下のことが明らかとなった。

1)試作したプローブで水位は精度良く観測できた。
2)従来型と互換性を得ることができた。
3)開放型の水圧計は，いつでも取り外せる構造のため，メンテナンス性が高く，常時観測型の据え置きで水位変化を調べることができる。
4)密閉型の水圧計は，堅牢な構造のため，耐久性に優れている。

表2　実験条件

貫入装置	従来型		試作プローブA		試作プローブB	
相対密度Dr (%)	50					
落下高(mm)	110	220	100	200	45	90
単位体積当たりの打撃エネルギー(J/mm²)	3.82	7.63	3.82	7.64	3.89	7.79

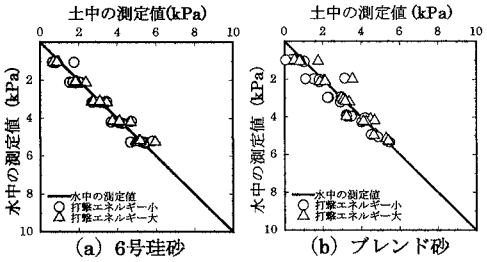


図5　試作プローブA　静水圧観測結果

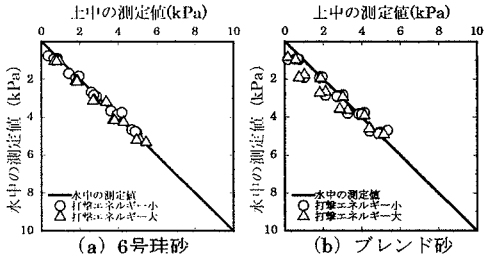


図6　試作プローブB　静水圧観測結果

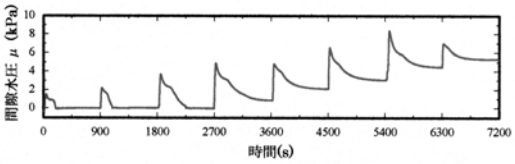


図7　試作プローブA　水圧応答時刻歴

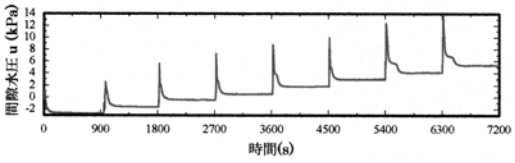


図8　試作プローブB　水圧応答時刻歴

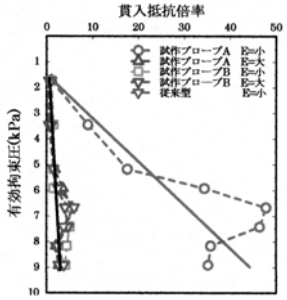


図9　各貫入装置の貫入抵抗比較

参考文献

1)地盤工学会：地盤調査の方法と解説，第6編サウンディング，簡易動的コーン貫入試験機，p.274，2004.

動的貫入試験における応答波形を用いたせん断剛性低下率の推定法

土木工学専攻　山田　伊織
指導教授　規矩　大義

1　序論

地震時，すなわち繰返し載荷に伴う地盤の変形挙動は大きく二つに分けられる。一つは地震動に対する地盤の振動応答であり，もう一つは地盤の液状化とそれに後続する側方流動といった破壊を伴う大変形挙動である。地盤のせん断ひずみの大きさによって変形挙動は異なり，ひずみが大きくなるに従って地盤の剛性が低下していくことが知られている。

せん断ひずみと地盤の剛性との関係は，「土の剛性のひずみ依存性曲線」として表され，等価線形地震応答解析を実施する際などに必要なパラメータである。原位置から採取した試料を用いた土の動的変形特性試験[1]によって求めるが，繰返し中空ねじりせん断試験装置のように高精度な試験装置と試験技術が要求されるため，地盤工学会が主催した全国一斉試験などの試験結果をもとにした代表的なひずみ依存性曲線が用いられることも多い。その場合の地盤の初期剛性も，室内試験によって求めることは非常に難しく，N値から地盤のせん断波速度を求める経験式を用いて，そこから初期剛性率を求める方法が多用されている。一方，液状化時の地盤剛性については，試験機・計測器等の制約や，この試験法が供試体が液状化に至る以前の応答に着目していたことなどから，ほとんど求められていない。

このような背景から，液状化後の静的単調載荷試験が行われ，豊浦砂では剛性比が約 1/250（0.004）程度に低下すると報告された（**図 1**）[2]。また，液状化後の流動予測手法 ALID では，液状化に伴って地盤が流動する大ひずみ時の剛性低下率は，概ね 1/1000 程度であることが実験的に求められており（**図 2**）[3]，液状化時の剛性と比較すると，さらに 1/4 程度となっているが，これらの値や傾向は，土の種類や細粒分含有率等によっても大きく異なることも明らかにされている。

地盤が液状化してから流動が発生するまでの，一連の地盤剛性の変化を求めるためには，複雑な試験を複数回実施する必要があるが，原位置で推定できる方法があれば，実務上，非常に有益である。

本研究は，地盤調査の場面で近年，普及・実用化が急速に進んでいる動的コーン貫入試験装置の一つである iPDC（intelligent Piezo Drive Cone）から得られる打撃応答の結果を用いて，液状化時とその後の大変形時の剛性低下率を，応答反力の低下率という形で表現できないか検討した。

2　研究概要

iPDC は 1 打撃ごとの N_d 値（換算 N 値，標準貫入試験における N値に相当）以外に，過剰間隙水圧，摩擦の影響を除去するための打撃荷重（地盤反力），ロッドの貫入変位の 3 つの測定値が得られる。また，過剰間隙水圧の応答から細粒分含有率 F_c を推定し，F_c が 50%以下の地点を対象とした液状化判定を行うことが可能である。

今回は，これまでに調査を実施した箇所を含め，合計 6 地域の液状化対象層について検討を行った。

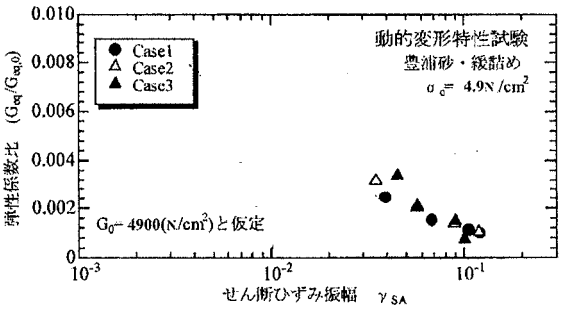


図 1　液状化試験結果から求めたせん断弾性係数のひずみ依存[2]

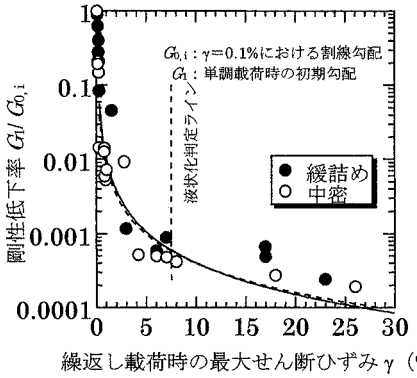


図 2　ひずみ履歴と剛性低下率の関係[3]

3　研究方法

iPDC による貫入試験では，ロッドが地盤に 1m 貫入するごとに継ぎ足し作業を行うため，連続打撃が一時中断される。この時，連続打撃によって地盤内に発生していた過剰間隙水圧は消散し，地盤強度が初期状態まで回復していると考えられることから，初打撃と

ロッド継ぎ足し直後の打撃応答を対象としてデータ整理を行った。

規矩[3]は埋設管に対する液状化時の地盤拘束力の実験で，得られた変位－荷重曲線の初期接線勾配から地盤バネ定数を求め，非液状化時の地盤バネ定数で正規化し，液状化による地盤バネの低減率 k/k_0 を求めている。この方法にならって，iPDC から得られる変位－荷重曲線を用いて，液状化時とその後の大変形時の剛性低下率の表現を試みた。

iPDC の打撃によって地盤が破壊されて，液状化が生じるとすれば，さらなる貫入時に，少なからず液状化から流動化の過程に相関する剛性低下が発生していることは確かである。そこで，各打撃の変位－荷重曲線の第一波めで液状化が発生していると仮定し，この時の割線勾配から液状化時の地盤反力係数 k_0 を求めた。その後，地盤は軟化し，第二波めで液状化に伴う流動が発生しているとすれば，この時の勾配は流動化発生時の地盤反力係数 k_1 と表すことができる。これにより，液状化時とその後の流動時の剛性低下率を，地盤反力の低下率 k_1/k_0 と表した（**図 3**）。

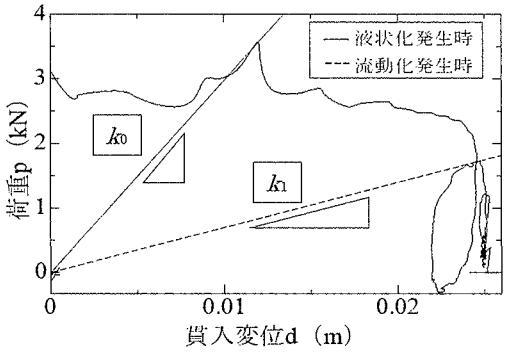


図 3　変位－荷重曲線から求める地盤反力係数

4　研究結果

全地点の液状化判定対象層の地盤反力係数の低下率 k_1/k_0 と，N_d 値の関係を**図 4** に示す。

N_d 値が大きくなるほど k_1/k_0 は小さくなっていることが確認できる。N_d 値が大きいということは，地盤の強度が高い（密な地盤）ということから，k_1/k_0 は小さく（低下の割合が大きくなった）なったと考えられる。

次に，k_1/k_0 と，細粒分含有率 F_c の関係に着目すると，細粒分を多く含むほど，k_1/k_0 が大きく（低下の割合が小さい）なる傾向が確認できた（**図 5**）。これは，細粒分を多く含む土は，少ない土に比べ，初期剛性が低く，強度が小さいためであると考えられる。

安田ら[4]は，静的せん断試験結果のせん断ひずみが $\gamma=10^{-3}$ でのせん断剛性 $G_{0,i}$ と，N 値からヤング率 E を求めて換算した初期せん断剛性 G_N の 2 つを設定し，複数の種類の土についてせん断剛性低下率を求め，F_c に対してプロットした。その結果，細粒分が少ない均質な地盤ほどせん断剛性が大きく低下することを明らかにした。また，これらの実験結果をもとにせん断剛性低下率と F_c の関係をまとめている。これに，本研究において求めた k_1/k_0 を適用すると，k_1/k_0 と G/G_0 は同様の傾向を示していることが確認できる。

本研究で得られた各地点の k_1/k_0 は，1/6～1/12 程度となり，これを用いて流動時の剛性を算出した結果，緩い地盤で 1/1500 程度，密な地盤で 1/3000 程度まで低下することが確認できた。密な地盤では既往の室内試験結果より大きな低下率となったが，初期剛性や液状化時の剛性の違いの影響を受けており，今後，精度を高めていく必要はあるが，密な地盤で流動が大きくなることを意味するものではない。

これらのことから，iPDC を用いた原位置試験のみで，液状化してから流動が発生するまでの一連の地盤剛性の変化を推定することが可能であるといえる。

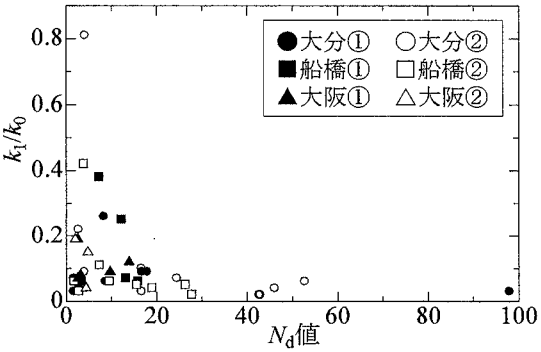


図 4　k_1/k_0 と，N_d 値の関係

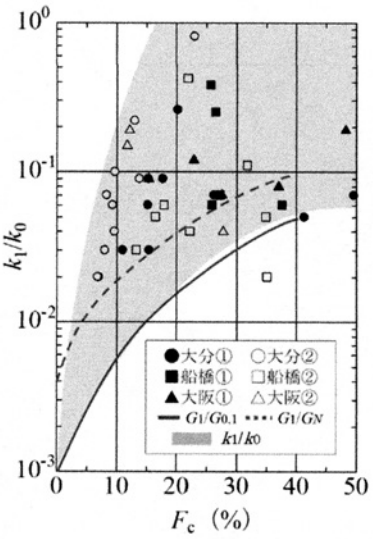


図 5　k_1/k_0 と F_c の関係

参考文献

1)　地盤工学会：土質試験の方法と解説，第 7 章　変形特性を求めるための繰返し試験，p.808，2020.
2)　規矩大義，吉田望：大ひずみ領域まで考慮した豊浦砂の動的変形特性試験，第 33 回地盤工学研究発表会，pp.869-870，1998.
3)　規矩大義：液状化による地盤の永久変位に関する研究，九州工業大学博士論文，1993.
4)　安田進，吉田望，安達健司，規矩大義，五瀬伸吾，増田民夫：液状化に伴う流動の簡易評価法，土木学会論文集，No.638/III-49，pp.71-89，1999.

噴流装置を用いた高速電気めっき

物質生命科学専攻　秋澤英里
指導教授　田代雄彦

1　緒言

Ni めっきは適度な硬度や耐食性に優れることから各種電子部品や MEMS デバイスへのめっきに使用され、バリア性があることから Au めっきの下地として使用されている。現在の電気めっきでは、ワット浴、スルファミン酸浴などが用いられ、2～5 A/dm² 程度の電流密度で使用されている。しかしながら、電鋳などの厚付けを必要とする分野では数百μm~数 cm 程度のめっき厚を要するため、めっき時間の長期化が問題である。また、従来法で高速めっきを行うと、焦げの発生や水酸化物共析などの異常析出を生じる。

$$iL=zFDCo/\delta \quad (式)^{1)}$$

上式は、限界電流密度(iL)の式である。z は電子の価数、F はファラデー定数、D は拡散定数、Co は溶液沖合濃度、δ は拡散層の厚さである。この式から、限界電流密度と拡散層の厚さは反比例することがわかる。つまり、拡散層の厚さを減少させることによって限界電流密度は増加し、高電流密度でのめっきが可能となる。すなわち、金属イオン濃度や温度、撹拌条件を変化させることで高速めっきが可能となる。そこで高速噴流装置を用いて流速を上げることで、カソード電極への金属イオンの供給を増し、高電流密度でのめっき検討を行なった。

一般的に用いられているワット浴は、めっき反応時のカソード近傍の pH 上昇を抑制するためにホウ酸が添加されている。しかしながら、水質汚濁防止法によるホウ酸の排出規制の観点から代替が求められ、酢酸を用いた浴も報告しているが[2)]、特有の刺激臭を発するため、作業環境に配慮する必要がある。

そこで本研究では、ホウ酸の代替物質に低濃度と高濃度の酢酸を使用し、高速噴流装置を用いて更なる電気ニッケルめっきの高速化を検討した。

2　実験方法

2.1 基本浴組成とめっき条件

めっき浴には、ワット浴（硫酸ニッケル・六水和物 250 g/L、塩化ニッケル・六水和物 50 g/L、ホウ酸 40 g/L)、ホウ酸の代替に酢酸を用いた酢酸浴(酢酸濃度 2.0, 20 mL/L)を使用し、浴 pH4.0、浴温 50 ℃、電流密度 10, 25, 50, 100 A/dm² でめっきした。

2.2 高速噴流装置概要

電気ニッケルめっきの高速化を図るために高速噴流装置を使用した。本検討で使用した装置の模式図を図１に示す。①～⑤の矢印の流れでめっき液が循環し、噴射ノズルを経由して基板(カソード)に液が当たる仕組みで、基板に当たった液は横から流れ落ちる。これにより金属イオンが常に基板に供給され、高電流密度下でのめっきを可能とする。

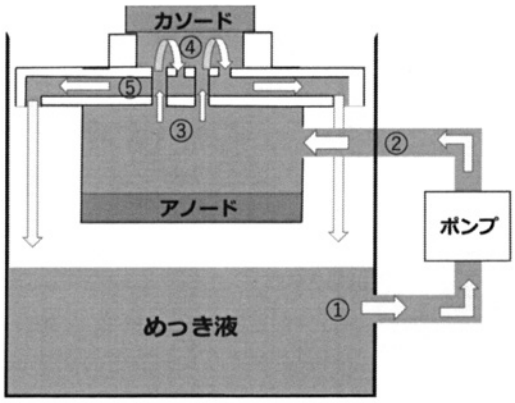


図１　高速噴流装置の模式図

2.3 評価方法

各めっき浴を、電流密度 10, 25, 50, 100 A/dm² でめっきし、デジタルカメラで撮影した外観を評価した。

めっき皮膜の表面観察には走査型電子顕微鏡(FE-SEM,日本電子製 JOEL JSM-7000F)を使用し、めっきした皮膜を加速電圧 5 kV で観察した。

めっき皮膜の結晶構造解析は、X 線回析装置(以下 XRD 、RIGAKU 製 RINT2200)により、管電圧 40 kV、2θ=40~100 ° の範囲をスキャン速度 5 ° /min で測定した。

硬度試験はマイクロビッカース硬さ試験機(Mitutoyo 製 HM-200)を用い、10, 50 A/dm² の２条件でそれぞれめっきサンプルを測定した。荷重は 20 gf とした。皮膜の任意の 12 点を測定し、平均値を算出した。

3.　結果および考察

3.1 めっき皮膜外観

高速噴流装置を用いてめっきを行った結果を図２に示す。図中の○は外観ムラ無し、△は外観ムラ有り、×は以上析出を示す。2.0 mL/L 酢酸浴では最大 50

A/dm² でめっき可能であった。100 A/dm² では水酸化ニッケルが析出した。電極近傍で水素発生が進行し、pH が急上昇したことで異常析出が発生したと考えられる。20 mL/L 酢酸浴、ワット浴は 100 A/dm² でもめっき可能であったが、不均一な析出状態であった。高速噴流装置のノズルの影響でめっき液の滞留が起こるため、基板表面の温度分布や金属イオン濃度分布に差が生じ[3]、液の滞留箇所の相違から析出に影響を与えたと考えられる。

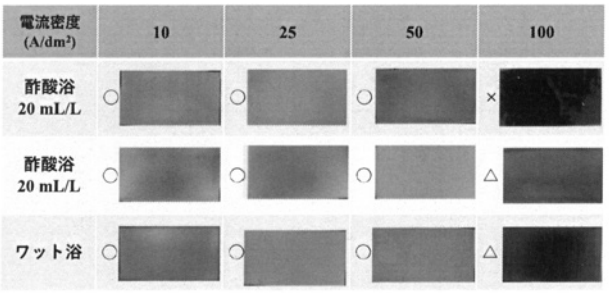


図２　各種めっき皮膜の外観写真

3.2 めっき皮膜の表面形態観察

FE-SEM で 2.0 mL/L 酢酸浴、20 mL/L 酢酸浴、ワット浴の各電流密度で表面形態観察を行なった結果を図 3 に示す。酢酸浴はワット浴と皮膜の析出形態が類似しており、高電流密度になるにつれ粒子径は小さくなる傾向にあった。高電流密度では電荷移動反応が優先的に進行し、微細な皮膜が得られたと考えられる。

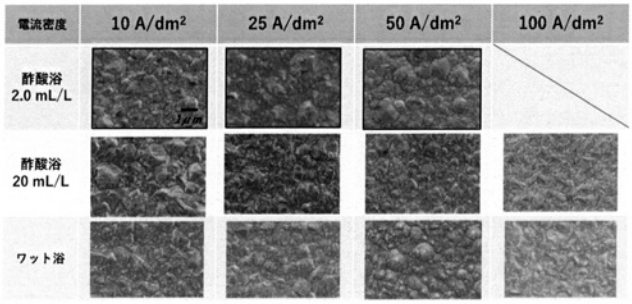


図 3 各種めっき皮膜の FE-SEM 像

3.3 めっき皮膜の結晶配向性

XRD により 2.0 mL/L 酢酸浴、20 mL/L 酢酸浴、ワット浴で得られためっき皮膜のピーク強度割合を図 4 に示す。ワット浴と 20 mL/L 酢酸浴では、10 A/dm² と 25 A/dm² の皮膜は Ni(200)面に起因するピークに優先配向したが、50 A/dm² で Ni(200)面のピーク強度は減少し、新たに Ni(220)面のピークが出現した。100 A/dm² ではすべて Ni(220)面に優先配向した。2.0 mL/L 酢酸浴は、すべての電流密度において Ni(200)面に優先配向した。図 3 の結果から分かるように、高電流密度でのめっきは析出粒径が微細になるため、Ni(220)面のピーク強度が高いほど微細な結晶が得られると考えられる。

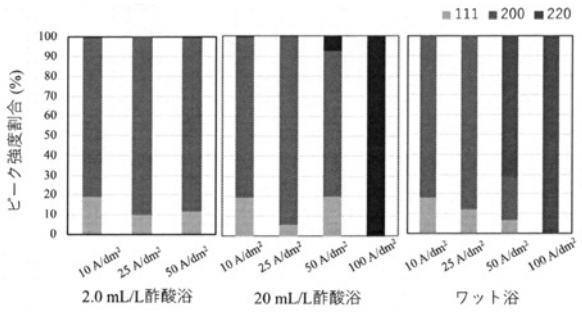


図 4　各種めっき皮膜の結晶配向性

3.4 めっき皮膜硬度測定

電流密度 10 A/dm²、50 A/dm² でめっきした各めっき浴の皮膜硬度測定結果を図 5 に示す。すべてのめっき浴の 50 A/dm² での値は、10 A/dm² と比較して 30 Hv ほど増加した。即ち、電流密度の高い方が高い硬度を示した。図 3 の結果からも、高電流密度でめっきを行うほど緻密な皮膜が形成され、析出粒子が緻密なほど高硬度になる傾向にある。ワット浴、20 mL/L 酢酸浴は硬度に大きな違いはみられないが、2.0 mL/L 酢酸浴から得られた皮膜は前二者と比較し、低い硬度であった。

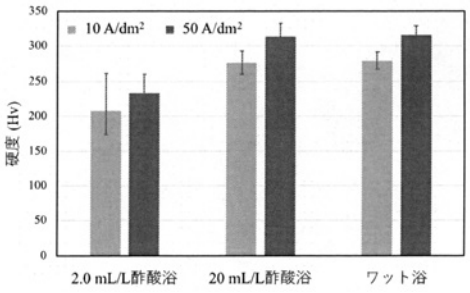


図 5　各種めっき皮膜の硬度比較

4.　結言

本高速噴流装置を用いることにより、電流密度 50 A/dm² でめっきを行うことができた。高電流密度でめっきを行うことにより、結晶粒子径は緻密になり、結晶配向性も変化し、従来のめっき条件よりも高い硬度の皮膜が得られる。

したがって、高速噴流装置を用いることで　高電流密度でのめっきが可能となり、成膜時間の短縮だけでなく新たな皮膜特性を得ることができた。

参考文献

1) 渡辺正,中林誠一郎：電子移動の化学―電気化学入門,p123(1996)
2) 加藤育洋、和久田陽平、田代雄彦、梅田泰、本間英夫;有機酸を用いたホウ酸フリー高速電気 Ni めっき浴の開発, 表面技術, 63 巻 1 号 pp.41-46 (2012)
3) 鈴木陽平, 梅田泰, 阿久津敏乃介, Christpher E. J. Cordonier:‘噴流式めっき装置を用いた高速硫酸銅めっきにおける流体シミュレーションの活用’, 表面技術, 70 巻 11 号, pp566-570(2019)

竹炭 CNT 混合薄膜を導電補助材基板とした Si 負極材料と金属錯体を有する層状 MnO_2 を用いた可視光応答性蓄電デバイスの創製研究

物質生命科学専攻　板倉　誠
指導教授　鎌田　素之
指導教員　友野　和哲

1　はじめに・序論・緒言

リチウムイオン電池(LIB)は，高エネルギー密度，高電圧であることから様々な用途に使用される[1]。しかし，LIB の有機溶媒系電解液は可燃性が高いことから発火のリスクがある[2]。本修士論文では，水系の蓄電デバイスの創製を目指して，負極としてシリコン系，正極として層状マンガン酸化物(MnO_2)の研究を行った。シリコン系負極は，炭素系負極に比べて高い容量が注目されている[3]。また，MnO_2 はスーパーキャパシタや正極材料として用いられる[4]。当ラボでは，MnO_2 の層間に金属錯体を導入した薄膜をワンステップで作製する手法を見出し，キャパシタンスが向上することを明らかにした[5]。層間内の金属錯体よる光電効果によって，キャパシタンスの更なる向上が示唆されるが，電気化学測定中に金属錯体が電解質イオンと交換することで機能性が消失する。この機能性消失に対する解決策として，層間に脂質をもつ層を蒸着することで金属錯体の脱離を抑制し，光照射によるキャパシタンス向上の検討を行った。

2　実験方法

竹炭 CNT 混合薄膜を導電補助基板とした Si 負極材料

泳動電着（EPD）法により竹炭とカーボンナノチューブ(CNT) の混合基板を作製した。竹炭 CNT 基板に対して，ブロモシラン溶液から Si を電析させた Si 竹炭 CNT 混合基板を作製した。

脂質膜による層間イオンの脱離抑制と光キャパシタ

Co 錯体(; $[Co(en)_3]^{3+}$)を層間にもつ MnO_2 薄膜を 2 回電着させた後，脂質イオン(; $(C_{12}H_{25})_2(CH)_2N^+$)を層間にもつ MnO_2 薄膜を被膜させた。以降，$(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2/2[Co(en)_3]@MnO_2$ と称する。同様に，上層を$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N^+$を層間にもつ MnO_2 薄膜に変更し，$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N$ @ $MnO_2/2[Co(en)_3]@MnO_2$ を得た。熱真空乾燥 6 時間後に光照射を 30 分行い，電気化学的評価を行った。

3　結果および考察

竹炭 CNT 混合薄膜を導電補助基板とした Si 負極材料

Fig. 1 に Si 竹炭 CNT 混合基板の電気容量の測定結果を示す。初期容量は 110 mAh/g，20 サイクル目は 66 mAh/g になった。竹炭 CNT 混合基板上に Si の薄膜が残留する結果を得た。この結果から，竹炭 CNT 基板の柔軟性が，Li イオン吸蔵時の体積膨張を緩和する可能性を示した。

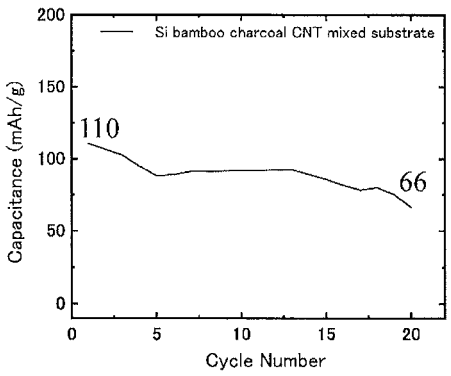


Fig. 1 Charge and discharge measurement results of Si on bamboo charcoal CNT mixed substrate.

脂質膜による層間イオンの脱離抑制と光キャパシタ

Fig. 2 に$(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2/2[Co(en)_3]@MnO_2$ 薄膜の脂質層の有無と光照射の有無におけるサイクル数に対するキャパシタンス値を示す。脂質層，光照射がある場合は，初期キャパシタンス値が 757.9 F/g，50 サイクル目 702.3 F/g になり，脂質層が無い場合と比較すると減少率は 7.3%と高いサイクル安定性を示した。脂質層を被膜することで$[Co(en)_3]^{3+}$の脱離抑制が可能だと示唆される。また，光照射がない場合と比較するとキャパシタンス値は 1.7 倍に向上した。

Fig. 3 に$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2/2[Co(en)_3]@MnO_2$ 薄膜による光照射の有無におけるサイクル数に対するキャパシタンス値を示す。光照射した場合，初期キャパシタンス 765.1 F/g，50 サイクル目 678.4 F/g を示した。光照射がない場合と比較すると 4 倍程度キャパシタンスが向上した。上層の脂質イオンをもつ Mn 層を$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2$に変更した場合も，ほぼ同程度のキャパシタンスを示し，脂質層よる被膜による抑制に再現性があることがわかった。

Fig. 4 は$(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2/[Co(en)_3]@MnO_2$ と$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2/ [Co(en)_3]@MnO_2$ の CV 前後の XRD パターンを示す。Fig. 4(a)(b)の CV 前後の XRD 結果から，$[Co(en)_3]^{3+}$および$(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N^+$を層間イオンとするそれぞれの回析パターンが CV 後も

観察されたことから，電気化学的評価後もそれぞれの層間イオンが残留していることがわかった。しかし，Fig. 4(c)(d)の XRD パターンから，$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N^+$ を層間イオンとする層状 MnO_2 の回析パターンは消失したことから，上層の $(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N$ イオンが電解質イオンに交換されたと考えられる。一方，下層の $[Co(en)_3]/MnO_2$ に由来する回折パターンは残存した。

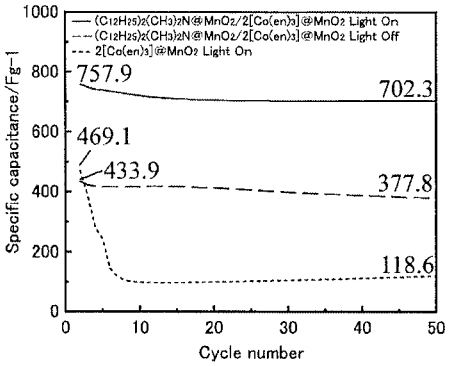


Fig. 2 Plots of the specific capacitance of the films as a function of the cycle numbers; (Solid line) Light ON; $(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2/[Co(en)_3]@MnO_2$, (Broken line) Light OFF; $(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2/[Co(en)_3]@MnO_2$, and (Dotted line) Light ON: $[Co(en)_3]@MnO_2$. The wavelength of the light irradiated for 30 minutes is 460 nm (± 5 nm).

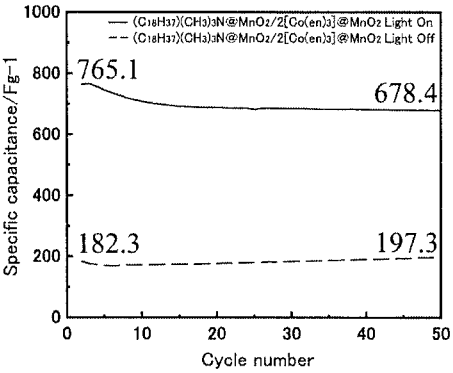


Fig. 3 Plots of the specific capacitance of the $(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2/[Co(en)_3]@MnO_2$films as a function of the cycle number; (Solid line) Light ON; $(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2/[Co(en)_3]@MnO_2$ and (broken line) Light OFF; $(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2/[Co(en)_3]@MnO_2$

CV 測定後の薄膜に対する変化の違いは，上層の脂質イオンの $(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N^+$(131℃)と$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N^+$ (95-104℃) の融点の違いによる凝集性の違いが電解質イオンに対するイオン交換に影響を与えてたと考えらる。結果として，凝集性が高く安定であった $(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2$ を上層にもつ試料では，光照射した場合，50 サイクル目までのキャパシタンス減少率は 7.3%であり，高いサイクル安定性を示した。

4　結言

シリコン系負極としての基板として竹炭 CNT が有用である可能性を示した。正極では，脂質イオンを層間イオンとする層状 MnO_2 を被膜することで，サイクル数に対するキャパシタンスが安定することを確認した。脂質イオンの凝集性が低い$(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N^+$では，脂質イオンが電解質イオンとの交換することがわかった。最適化した作製膜を光照射(460 nm)することによって，通常の 4 倍の 700F/g に達する成果を得た。

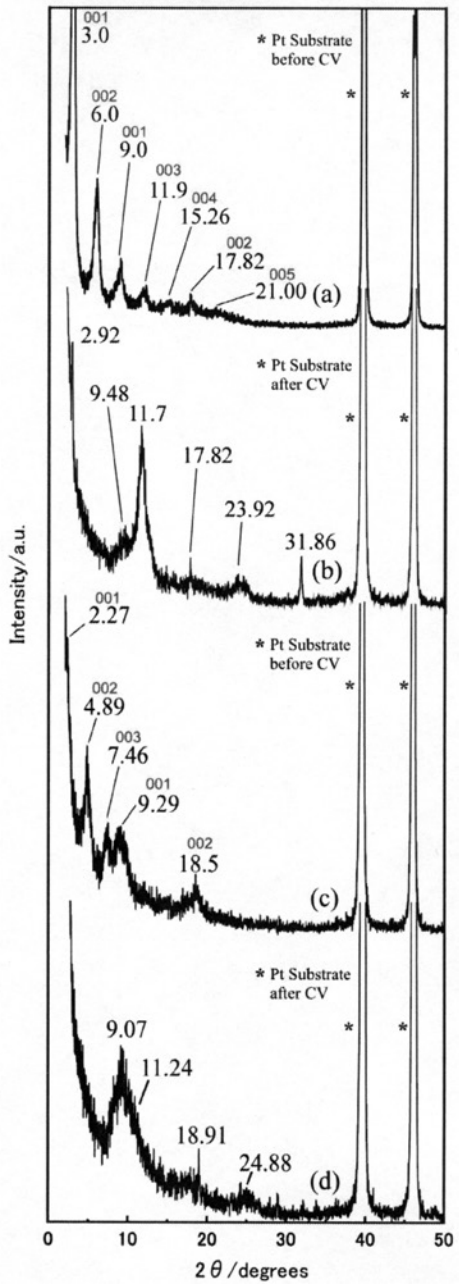


Fig. 4 XRD patterns of (a, c) before and (b, d) after CV measurements; (a, b) $(C_{12}H_{25})_2(CH_3)_2N@MnO_2/2[Co(en)_3]@MnO_2$ and (c, d) $(C_{18}H_{37})(CH_3)_3N@MnO_2/2[Co(en)_3]@MnO_2$, respectively.

参考文献

1) N. Palaniyandy, *et al., Chem. Phys.* 230, 258 (2019); M. Qin, *et al., J. Electroanal. Chem.* 847, 113 (2019).
2) T. Nigl, *et al., Processes* 9, pp. 49-61 (2021).
3) C. M. Park, *et al., Chem. Soc. Rev.*, 39, 3115 (2010).
4) J. Zhu, *et al., J. Mater. Chem. A*1, 8154 (2013); J. Shao, *et al., J. Power Sources* 223, 56 (2013).
5) K. Tomono, *et al., ECS trans.*, 50(52), 135 (2013); K. Tomono, *et al., Bull, Institu, Sci. Tech.*, 46, 33 (2018).

ウルトラファインバブル低濃度オゾン水によるABS樹脂への表面改質

物質生命科学専攻　　王　　馳
指導教授　田代　雄彦

1　緒言

ABS樹脂とはアクリロニトリル，ブタジエンおよびスチレンより構成される熱可塑性樹脂である[1]。耐衝撃性や硬さがあるので，家電製品，日用品や自動車部品などの加工精度を要求されるものに多用される。ABS樹脂の表面改質は現状，六価クロムと硫酸を混合した高濃度エッチング液を使用している。しかしながら，六価クロムは有害物質であり、近年の環境規制により六価クロムの使用は厳しく制限されるため，環境に優しい様々なクロムフリーの改質技術が報告されている[2]。

そこで，われわれは環境に優しいウルトラファインバブル(UFB)と1.8-2.2 ppmの低濃度オゾンを融合したエッチング方法を従来のクロム酸エッチング代替として着目した。

本研究は，環境に優しく，処理水のリサイクルも可能な代替技術であるUFB低濃度オゾン水処理法の処理水温度などの変更により，ABS樹脂とめっき皮膜間の密着強度を比べ，本処理システムの最適条件を検討した。

2　実験方法

試験基板は住友ベークライト製50 mm×50 mm×1.5 mmtのABS樹脂を用いた。ABS樹脂は吸水性が高く，加工・切断時の残留応力が蓄積するなどの問題があるため，75 ℃で1時間の熱処理を行った。

標準のめっき工程を**表1**に示す。本処理法の液温は25±2 ℃，オゾン濃度は約2 ppm，処理時間は10～60分とした。また，完全成膜したサンプルは，引張試験機(Strograph E2-L05，東洋精機製作所製)を用い，基板とめっき皮膜間の密着強度を測定した。

本改質処理装置は，関東学院大学材料・表面工学研究所とRSテクノロジー社の共同研究により開発され，Fblow®（Fine bubble low ozonated water）処理をクローズドシステムで稼働する。

始めに，処理槽内のオゾンバブルの安定化を考慮し，装置稼働時間に伴うUFBの個数濃度を測定し，密着強度との関係を検討した。ここで，本UFB個数濃度計(エーエルティー製，ALT-9F17)の値は，純水が最小値の150，最大値の1000が10^9個/mL相当の相対値である。

次に，Fblow®処理水温度を25～45 ℃，前処理温度を35～75 ℃，熱処理温度を71～79 ℃にそれぞれ変化させ，Fblow®処理条件の最適化を検討した。

表1 標準めっき工程

素材熱処理；75 ℃, 60 min
アルカリ処理(NaOH)；65 ℃, 2 min
▽
Fblow'処理(O_3:1.8-2.2 ppm)；25 ± 2 ℃, 0-120 min
▼
熱処理；75 ℃, 120 min
アルカリ処理 (NaOH)；65 ℃, 2 min
▽
コンディショニング処理(CC231)；45 ℃, 2 min
▽
×2 触媒付与($PdCl_2$)；45 ℃, 2 min
▽
触媒還元(NaH_2PO_2 ・ H_2O)；45 ℃, 1 min
▽
無電解 Ni-P めっき；45 ℃, 4 min
▽
触媒付与($PdCl_2$)；45 ℃, 20 sec
▽
無電解 Cu-Ni-P めっき；45 ℃, 5 min
▽
熱処理；75 ℃, 60 min
電気 Cu めっき；25 ℃, 20 μm
▽
熱処理；75 ℃, 60 min
▼：水洗　▽：四段水洗

3　結果および考察

改質処理前の処理水中のオゾンバブルを安定化する必要があるため、UFB個数濃度を測定し、密着強度との関係を検討した。本装置稼働時間とUFB個数濃度の関係を図1に，個数濃度と密着強度の関係を図2に示す。その結果，オゾン濃度が安定するまで

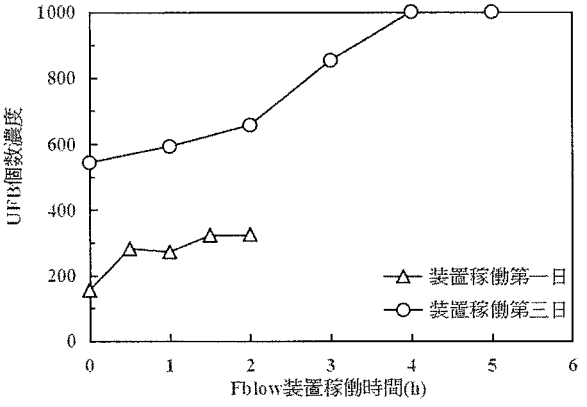


図1　Fblow®稼働時間とUFB個数濃度の関係

の時間はおよそ30分であるが[2]，装置を稼働すると経日的に初期の個数濃度は高くなることを確認した。

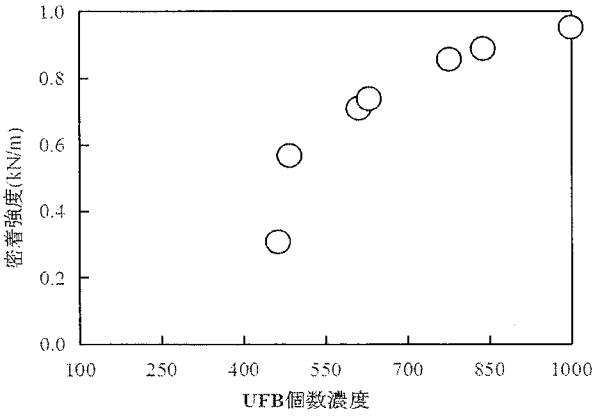


図 2　UFB 個数濃度と密着強度の関係

また、個数濃度が高いほど，密着強度も高くなることも分かった。すなわち，UFB 個数濃度の安定化は，本装置の稼働開始から 3-4 時間が必要であった。以降の検討では装置稼働開始から 3 時間以上経過後に Fblow®処理を実施した。

次に，UFB 低濃度オゾン水処理時間および処理温度を変化させ密着強度との関係を検討した。その結果を図 3 に示す。処理温度 25 ℃の処理時間 20 分で密着強度は最大の約 0.95 kN/m が得られ，処理時間 30 分以上は緩やかに低下し，60 分で 0.68 kN/m の密着強度を示した。しかしながら，処理時間 20 分までは ABS 樹脂表面の改質状態は不均質で，無電解 Ni-P めっき後に斑点状の外観ムラが認められたことから[3]，30 分を最適処理時間とした。また，オゾンの溶解度は処理温度が高いほど低くなり，水中でのオゾン分解は促進され，改質効果は低下し，密着強度も低下したと考えられる。

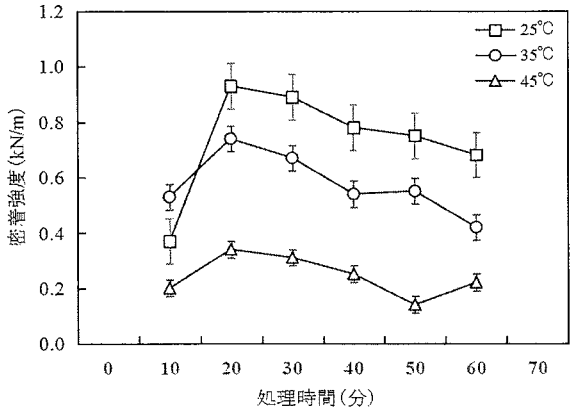


図 3　UFB 低濃度オゾン水処理時間および処理温度と密着強度の関係

前処理温度変化と密着強度の関係を図 4 に示す。その結果，従来(表 1)の 45 ℃で処理した基板の密着強度は他の温度と比較して安定して高いことを確認した。ここで，処理温度 35 ℃ではめっき未着が発生した。そこで，触媒付与と触媒還元を 4 回行うことで(通常 2 回)，無電解 NiP めっきの完全成膜を確認した。

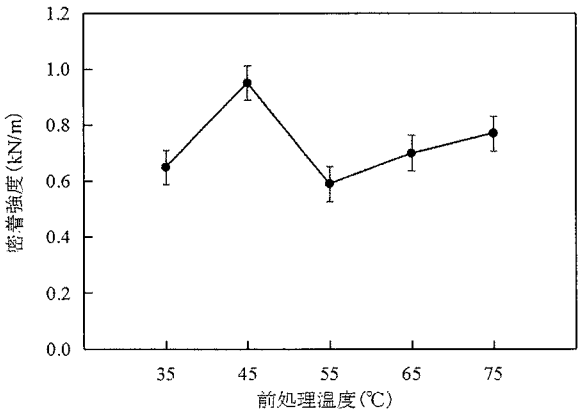


図 4　前処理温度と密着強度の関係

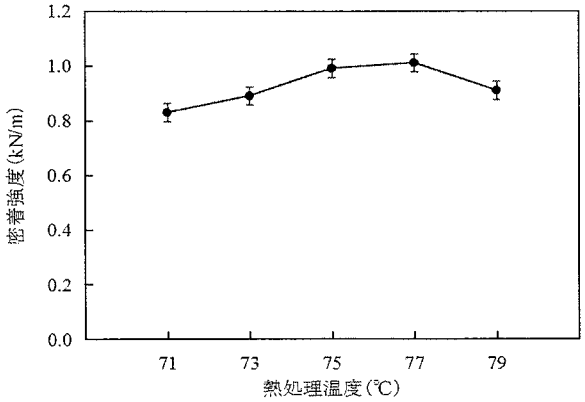


図 5　熱処理温度と密着強度の関係

更に，めっき工程中の熱処理温度をすべて同一の 71～79 ℃に変化させた。その結果を図 5 に示す。熱処理温度を上昇すると，密着強度は高くなる傾向にあった。75 ℃と 77 ℃で約 1 kN/m の密着強度を得たが，若干 77 ℃の方が高く(最大値)，79 ℃では低下した。

4　結言

UFB 個数濃度は密着強度に影響を与えることを確認した。そこで，本装置稼働開始から 3 時間以上経過後に UFB 低濃度オゾン水処理を実施することで，処理水中のオゾン濃度だけでなく，UFB 個数濃度も安定化することが分かった。また，オゾン濃度 2 ppm の場合，Fblow®処理時間 30 分で，処理水温度 25 ℃，前処理温度 45 ℃，熱処理温度 77 ℃に最適化することによって，約 1 kN/m の安定した密着強度が得られた。

参考文献

1）森本 章夫；日本ゴム協会誌，**45**(6), pp.570-574 (1972)
2）田代雄彦，梅田泰，本間英夫；表面技術，66(5), pp.195-200
3）梅田泰，野村太郎，中川陽代，中林祐稀，田代雄彦，本間英夫，高井治；エレクトロニクス実装学会誌，**19**(7), pp.492-500 (2016)

ジメチルスルホンを溶媒として使用したアルミニウム電析への第四級アンモニウム塩微量添加

物質生命科学専攻　笹野　椋子
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 Al 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。近年、Al の電気化学的析出法（電析）が急速に注目を集めている要因の一つに、亜鉛資源の枯渇問題がある。亜鉛は鉄鋼材の代表的な防錆めっきの材料であり極めて広範に利用されている。しかし亜鉛は今後 20 年程度で枯渇するとの予測もされている。この亜鉛の代替としてクラーク数第 3 位の元素であり、枯渇の心配が少ない Al を用いた電析が多くの機関で研究が進められている。

Al の電析電位は水素発生電位よりも卑であるため Al を多く含む Al 合金は水溶液を用いた電析法では析出できず、非水系の溶媒を用いなければならない。

本研究ではジメチルスルホン（$DMSO_2$）を溶媒に用いた。$DMSO_2$は毒性が低く、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。$DMSO_2$は室温で固体であるが、溶融$DMSO_2$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。Al の電析には主として $AlCl_3$ と $DMSO_2$ からなる電析浴を用いた。

先行研究にて、第四級アンモニウム塩の塩化トリメチルアンモニウムを微量添加した際、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、炭素鎖を増やした塩化テトラメチルアンモニウムに注目した。

本研究では、ジメチルスルホンと塩化アルミニウムにより構成された電析浴に塩化テトラメチルアンモニウム(TMAC)と塩化テトラエチルアンモニウム(TEAC)を微量添加し、添加した際の表面形状への影響を調べた。

2　実験方法

本研究では定電流法を用いて電析を行い、対極にはアルミニウム板、試験極には、銅板(10 mm × 10 mm)、を使用した。試験極前処理工程としてアルカリ脱脂を 65 ℃で 5 分間、酸活性を 1 分間行った.電析浴の組成はジメチルスルホンと塩化アルミニウムの mol 比 10 :3 とした。添加剤として、塩化テトラメチルアンモニウム、塩化テトラエチルアンモニウムを使用した。重量パーセント濃度で、塩化テトラメチルアンモニウム 0.001, 0.0012, 0.0014, 0.0018, 0.002, 0.003 mol 、塩化テトラエチルアンモニウムを 0.001 mol 添加した。

電析条件は窒素雰囲気下浴温 150℃で 60 分間脱水を行った後，電析電流を 30 mA/cm^2 とし、撹拌速度は 500 rpm とした。定電流により電析温度 120℃、総電荷量を 5 C, 10 C , 30 C にて、それぞれ電析を行った。

3　結果及び考察

3.1　塩化テトラメチルアンモニウム

塩化テトラメチルアンモニウムを添加した際の試料の表面粗さ測定結果を Fig. 1. に示す。本測定では比較のため試料に加え銅基板も測定した。塩化テトラメチルアンモニウム添加量 0.0012、0.0014 mol 試料が無添加浴及び銅基板の Ra、Sa の値を下回り、より平滑な電析膜となったことを確認された。

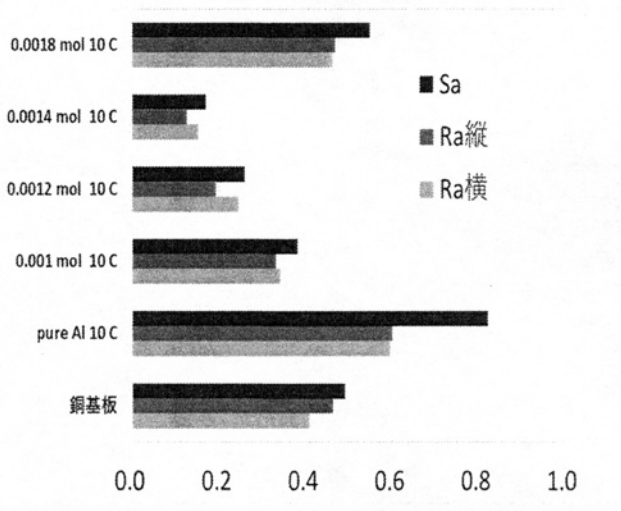


Fig. 1 Surface roughness results of TMAC-added sample

塩化テトラメチルアンモニウム添加量 0.001～0.0018 mol 試料の反射率の測定結果を Fig. 2.に示す。塩化テトラメチルアンモニウム添加量 0.0018 mol が最大であることが確認された。550 nm のさいに、SCI が 45%以上、SCE が約 40%と高い数値を示したため、0.0018 mol 添加試料は平滑でないと考えられる。0.001 mol 添加試料も SCI と SCE の値が高いため、同様に考えられる。0.0014 mol 添加試料は、550 nm で SCI が約 35%、SCE 値が約 20%であることが確認された。SCE

数値が 0.0018 mol 添加試料と比べかなり低いことから、拡散反射光が少なく、平滑な試料だと考えられる。

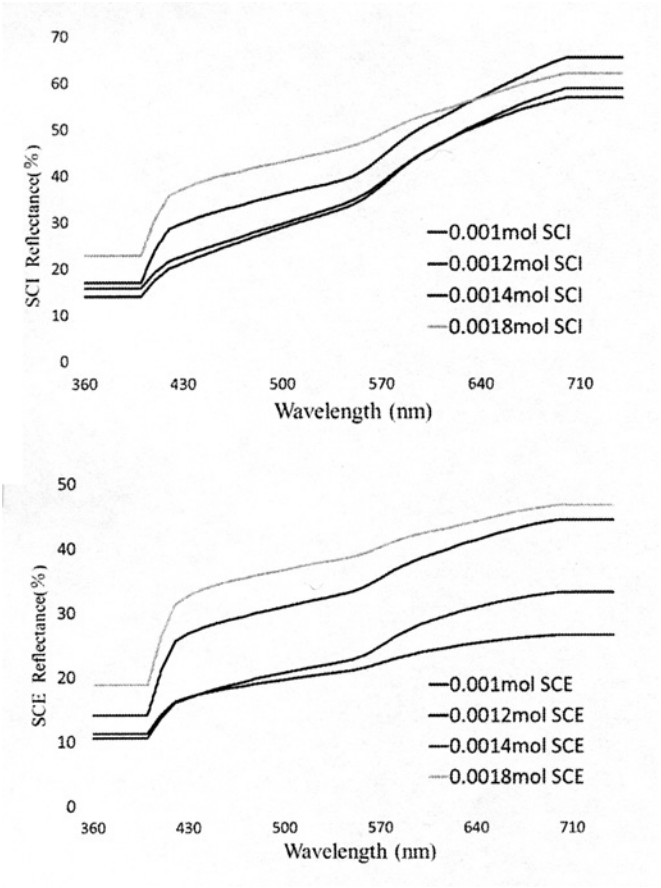


Fig. 2 Reflectance of TMAC-added sample

3.2　塩化テトラエチルアンモニウム

塩化テトラエチルアンモニウム添加試料の表面粗さ測定の結果を Fig. 3 に示す。塩化テトラエチルアンモニウム添加試料は無添加浴及び銅基板の Ra、Sa の値を下回り、平滑な電析膜となったことを確認しました。特に無添加浴試料と比べ、Sa の数値が約 1/2 となることが確認された。

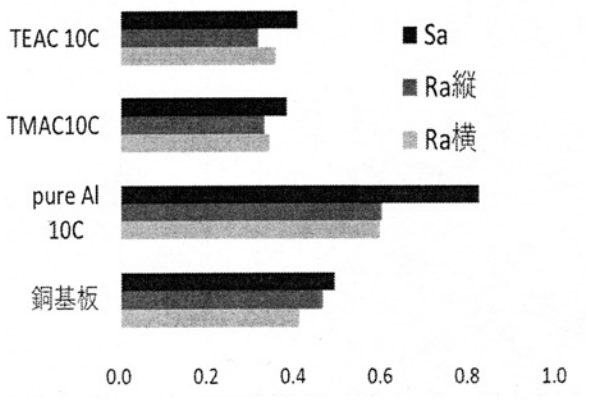


Fig. 3 Surface roughness results of TEAC-added sample

塩化テトラエチルアンモニウム添加量 0.001 mol 試料の反射率の測定結果を Fig. 4 に示す。塩化テトラエチルアンモニウム添加試料は塩化テトラメチルアンモニウム添加試料よりも SCE の数値が低く、平滑な電析膜という結果となった。SCE の値が低い試料が平滑性のある電析膜と考えられる。塩化テトラエチルアンモニウム添加量 0.001 mol、総電荷量 5 C の試料が最も SCE の値が低い結ことが確認された。

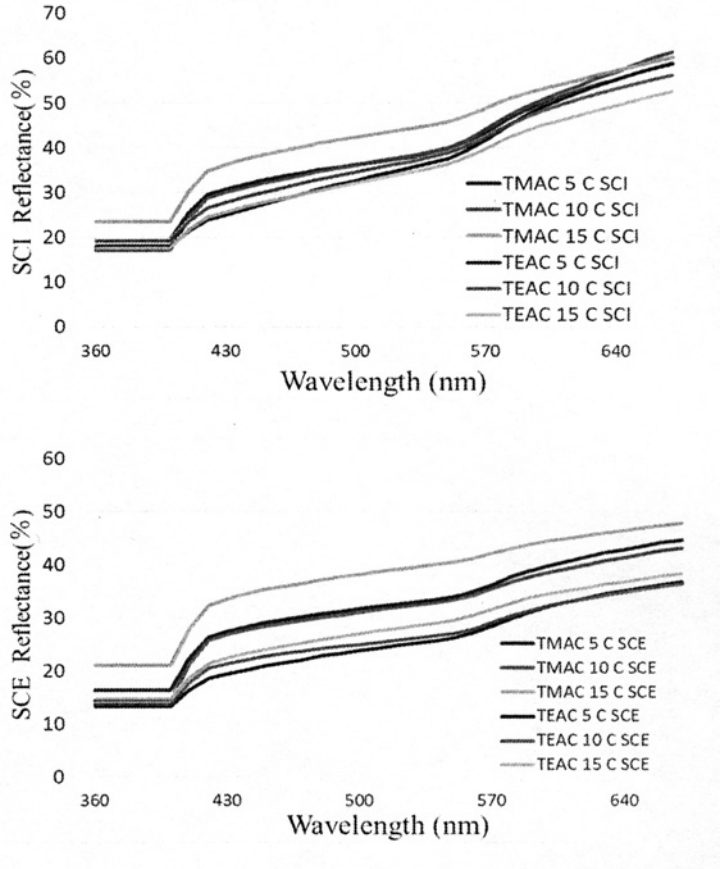


Fig. 4 Reflectance of TMAC-added sample

4　結言

塩化テトラメチルアンモニウム、塩化テトラエチルアンモニウムの添加量は電析膜に影響を与えた。

実験結果より、塩化テトラメチルアンモニウムを 0.0014 mol 添加した際、平滑なめっき面であることを確認した。塩化テトラエチルアンモニウムを 0.001 mol 添加した際、クーロン量 5C、10C において平滑なめっき面であることを確認した。反射率より、塩化テトラエチルアンモニウムを添加した試料は、塩化テトラメチルアンモニウム添加試料に比べ、SCE 値が低い傾向にあることを確認した。これは、炭素鎖の長さが影響を与えたと考えられる。

参考文献

1) I. Shimoji, T. Naoya, S. Katsuhito, N. Watanabe and I. Koiwa; IUMRS-ICA D7-P28-008(2014).
2) J. Vaughan and D. Dreisinger, J. Electrochem. Soc. 155, D68-D72(2008).

乳酸菌由来ペプチドグリカンの構成アミノ酸とサイトカイン誘導活性との関連性

物質生命科学専攻　　野口　翔
指導教授　尾之上さくら

1　緒言

乳酸菌などグラム陽性菌の細胞壁の主要成分であるペプチドグリカン（PG）は，細菌が共通に有する免疫刺激物質と考えられており，哺乳動物のマクロファージや樹状細胞などの免疫担当細胞に認識され，様々な免疫反応を引き起こすことが知られている。

Levilactobacillus brevis など，多くの乳酸菌 PG の組成は，N-アセチルムラミン酸（MurNAc）と N-アセチルグルコサミン（GlcNAc）がβ-1,4 結合した糖鎖にペプチド鎖が結合しており，このペプチド鎖末端の D-アラニン（D-Ala）と隣り合うペプチド鎖の L-リシン（L-Lys）が D-アスパラギン酸（D-Asp）を介して架橋している。また，MurNAc に L-Ala と D-グルタミン酸（D-Glu）が結合した構造はムラミルジペプチド（MDP)と呼ばれている。

一方，*Lactiplantibacillus plantarum* など一部の乳酸菌 PG では，ペプチド鎖の L-Lys がジアミノピメリン酸（DAP）に置き換わっており，隣り合うペプチド鎖の D-Ala と直接架橋している。ペプチド鎖中の D-Glu と DAP 部分は，γ-D-グルタミル-*meso*-ジアミノピメリン酸（iE-DAP）と呼ばれている。

このような PG の成分である MDP や iE-DAP を認識して自然免疫応答を誘導すると考えられる細胞内受容体に NOD2 と NOD1 があり，NOD2 は MDP を，NOD1 は iE-DAP を認識することが証明されている[1]ため，*L. brevis* PG では MDP のみが NOD2 に認識され，*L. plantarum* PG では MDP に加えて iE-DAP が NOD1 に認識されると考えられる。

乳酸菌のうち *Limosilactobacillus fermentum* PG にはペプチド鎖の L-Lys の代わりに L-オルニチン（L-Orn）が存在しており，隣り合うペプチド鎖の D-Ala と L-Orn が D-Asp を介して架橋していることが報告されている[2]。しかし，この PG の免疫活性についての報告はほとんどなく，L-Orn を含むペプチド鎖を認識する細胞内受容体の有無についても明らかにされていない。

本研究では，*L. brevis* PG，*L. plantarum* PG 及び *L. fermentum* PG の構成アミノ酸とサイトカイン誘導活性との関連性を明らかにすることを目的として，可溶化 PG をさらにアルカリ加水分解したリポペプチド分解除去 PG を調製し，それぞれの PG の純度を分析し，IL-8 産生量を測定した。

2　実験方法

2.1　使用菌株

本研究には *L. brevis* NBRC 3345, *L. plantarum* NBRC 3070 及び *L. fermentum* NBRC 15885^T を使用した。

2.2　PG の調製

培養した乳酸菌の懸濁液を超音波処理によって破砕し，4% SDS 及び 5%トリクロロ酢酸で処理し得られたものを粗 PG とした。粗 PG に，2 mg/ml リゾチームを加え 37℃で 2 hr 加温した後，フェノール-クロロホルム抽出し，水相を採取し，透析してフェノールを除いた後に凍結乾燥したものを可溶化 PG とした。さらに，可溶化 PG に 0.1 M NaOH を加え，100℃，30 min 加熱処理した。反応後，0.1 M HCl を加えて中和したのち，透析し凍結乾燥したものをリポペプチド分解除去 PG とした。

2.3　PG のアミノ酸分析

PG に 6 M HCl を加え，100℃，18 hr 加水分解して遊離アミノ酸を得た。これに 10% (v/v) HCl-butanol を加え，100℃，2.5 hr 加熱することにより，カルボキシル基をブチルエステル化した。次に無水トリフルオロ酢酸を加え，150℃，10 min 加熱することにより，アミノ基をトリフルオロアセチル化した。得られたアミノ酸誘導体について GLC 及び GC-MS により分析を行い，各アミノ酸を同定した。

2.4　THP-1 細胞からの IL-8 産生量の測定

ヒト単球系細胞株細胞（THP-1 細胞）に 0.1 μM 活性型ビタミン D3 を添加し 72 hr 培養することでマクロファージ様に分化誘導させた[3]。その後，各乳酸菌株から調製した PG を 0.01，0.1，1.0，10 μg/ml の濃度になるように投与し 24 hr 培養した。培養上清中の IL-8 産生量は ELISA 法により定量した。

2.5　分泌型アルカリフォスファターゼの検出

HEK-Blue™ hNOD1 cells（hNOD1 細胞）に各乳酸菌株から調製したリポペプチド分解除去 PG を投与し 24 hr 培養した。分泌型アルカリフォスファターゼ（SEAP）の検出には HEK-Blue™ Detection を用いた。

2.6　hNOD1 細胞からの IL-8 産生量の測定

hNOD1 細胞に各乳酸菌株から調製したリポペプチド分解除去 PG を 10，100 μg/ml の濃度になるように投与し，24 hr 培養した。培養上清中の IL-8 産生量は 2.4 と同様の ELISA 法により定量した。

3　結果

調製したPGに含まれるアミノ酸をGLC及びGC-MSにより分析した。*L. brevis*の粗PGではPGを構成するアミノ酸に加え，PG成分以外のアミノ酸が多く検出された。一方，可溶化PG及びリポペプチド分解除去PGでは，PG成分のアミノ酸(Ala, Asp, Lys, Glu)のみが検出された(Fig. 1, A)。*L. plantarum* PGでは，いずれのPGからもDAPが検出され，リポペプチド分解除去PGでは，PG成分のアミノ酸（Ala, Glu, DAP）のみが検出された（Fig. 1, B)。*L. fermentum* PGでは，いずれのPGからもL-Ornが検出され，リポペプチド分解除去PGでは，PG成分のアミノ酸（Ala, Asp, Orn, Glu）のみが検出された（Fig. 1, C)。

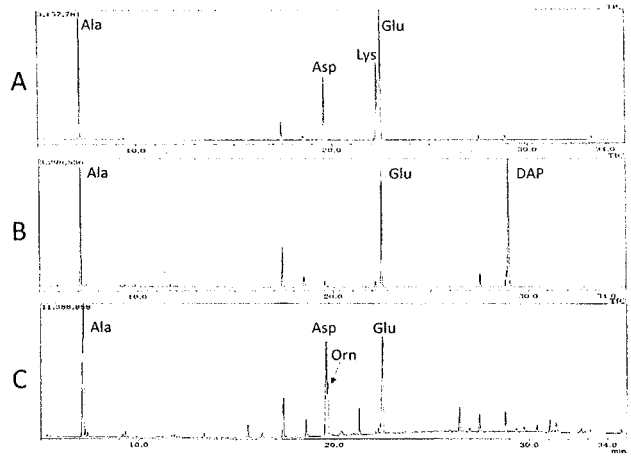


Fig. 1　リポペプチド分解除去PGのアミノ酸分析
A：*L. brevis*　B：*L. plantarum*　C：*L. fermentum*

各乳酸菌株の粗PG，可溶化PG，リポペプチド分解除去PGによるTHP-1細胞からのIL-8産生量をELISA法により定量した。

粗PGによるIL-8産生量は，PGの濃度に依存して増加したが，それぞれの乳酸菌PGでIL-8産生量が異なっていた。この違いは，細菌細胞から混入したリポペプチド等の免疫活性成分の混入によるものと考えられる。

可溶化PGおよびリポペプチド分解除去PGによるIL-8産生量は粗PGと比較して低下した。これは，細菌細胞から混入した免疫活性成分の除去等によるものと考えられる。

リポペプチド分解除去PGによるIL-8産生量を定量した結果，Fig. 2に示したように*L. brevis*と*L. fermentum*は同程度のIL-8産生量を示したが，*L. plantarum*のIL-8産生量は，*L. brevis*及び*L. fermentum*と比べて統計学的に有意に高い値を示した。この結果から，*L. plantarum* PGが受容体NOD1に認識されIL-8産生量が増加したことが示唆されたため，hNOD1細胞を用いて活性測定を行った。

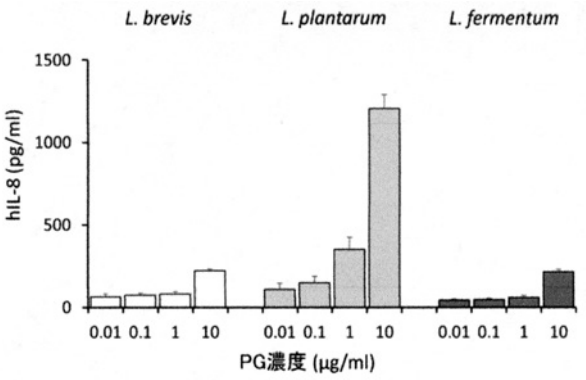


Fig. 2　リポペプチド分解除去PGによるTHP-1細胞からのIL-8産生

hNOD1細胞は，ヒトNOD1遺伝子と分泌型胎児アルカリフォスファターゼレポーター遺伝子をHEK293細胞にトランスフェクションすることにより得られた細胞であり，NOD1のリガンドに刺激されることで，NF-κBとactivator protein-1（AP-1）が活性化されSEAP産生が誘導される。

各乳酸菌株から調製したリポペプチド分解除去PGをhNOD1細胞に添加した際のSEAP産生は*L. brevis* PGおよび*L. fermentum* PGに比べて，*L. plantarum* PGにより強く誘導された。また，hNOD1細胞に各乳酸菌株のリポペプチド分解除去PGを添加しIL-8産生量を測定した結果，SEAP産生と同様に*L. plantarum*リポペプチド分解除去PGによりIL-8産生がより強く誘導された。この結果から，*L. plantarum*リポペプチド分解除去PGが受容体NOD1に認識されたことでNF-κBとAP-1が活性化され，SEAP産生及びIL-8産生が誘導されたと推定された。

4　結言

本研究によって得られた結果から，*L. fermentum* PGは受容体NOD1に認識されていないこと，及び*L. plantarum* PGはNOD1受容体を介してIL-8産生を誘導することが示唆された。今後は，NOD2発現細胞を用いた活性測定を行いたいと考えている。また，*L. plantarum* PGが細胞のペプチターゼで切断されiE-DAPとなり受容体NOD1に認識されているのか，あるいは高分子のまま認識されるのかという点についても明らかにしたいと考えている。

参考文献

1) 高田春比古，上原亜希子，蛋白質核酸酵素，49 (2004), pp.1161-1167.
2) Schleifer KH, Kandler O., Bacteriol Rev., 36 (1972), pp.407-477.
3) Naveh-Many T, Silver J., Endocrinology., 133 (1993), pp.2724-2728.

マイクロ波照射下でのカルボン酸のエステル化反応における触媒検討

物質生命科学専攻　松田　康佑
指導教授　飯田　博一

1. 序論

電磁波とは電磁場の振動が伝播する現象のことである。電磁波は、その波長によって分類されており、図 1 に示したように、電磁波は波長が短いものからγ線、X 線、紫外線（UV）、可視光線（vis）、赤外線（IR）、電波（サブミリ波、ミリ波）、マイクロ波、ラジオ波（超短波、短波、中波、長波、超長波）と分類される。

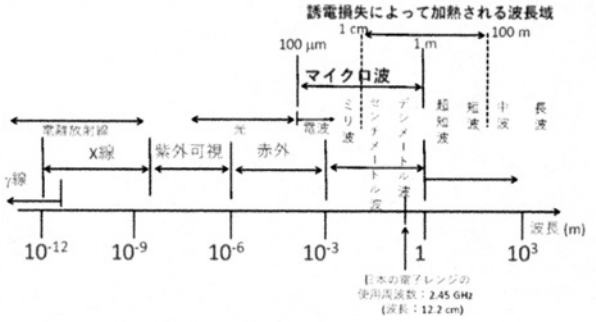
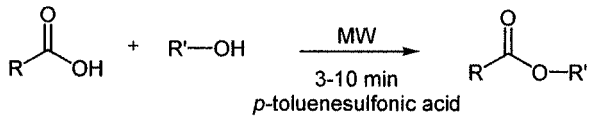


図 1　電磁波の波長による分類

マイクロ波は遠赤外部の一部からデシメートル波の電磁波波長 100 μm から 1 m、周波数 300 GHz から 300 MHz の電磁波である。このうち、工業用、化学用、医療用を目的として割り当てられている周波数（ISM 周波数：Industrial Scientific and Medicinal Band）には、915 MHz 帯、2.45 GHz 帯、5.8 GHz 帯、24.5 GHz 帯がある。そして、1 cm から 100 m の電磁波の範囲は誘電損失によって加熱（誘電加熱）される波長域として知られている。物質とマイクロ波の相互作用は、物質と光の相互作用との類似で考えると理解しやすい。水やアルコールはマイクロ波を吸収する。このため、これらの物質はマイクロ波での急速加熱が可能になり、誘電加熱による分子レベルでの迅速な反応が生じる。この中で 2.45 GHz（波長 12.2 cm）のマイクロ波が電子レンジをはじめ、化学合成、抽出などの化学分野、あるいは医療の領域に幅広く用いられている。マイクロ波技術は 1986 年初めて有機合成化学に適用されてから、マイクロ波加熱により、迅速に反応が進むマイクロ波合成法は、有機合成化学分野において多用されている。[1, 2]



R= Ph, $(Me)_3$Ph, aliphatic chains

R'= Cy, Pr, Bu, and longer aliphatics

図 2 Hayes によるエステル化反応

2002 年に Hayes は通常加熱では 2 日かかるようなカルボン酸とアルコールの反応をマイクロ波照射下では 10 分やそれ以下の時間で、定量的にエステルが得られると述べている（図 2）。[3]

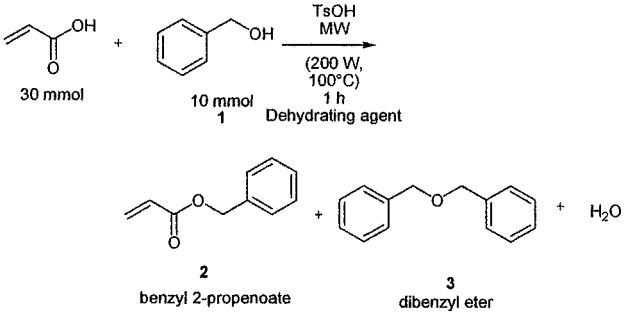
そこでマイクロ波照射下でのエステル化・脱水縮合反応についての検討を行うことにした。

2. 実験方法

カルボン酸（8.5 mmol）のアルコール（17.0 mmol）溶液に *p*-トルエンスルホン酸（TsOH, 0.1 mmol）、脱水剤を順次加え、CEM 社のシングルモードのマイクロ波照射装置 Discover を用いて、150 W ~ 200 W、70 ~ 150 ℃、5 ~ 60 分に設定し、反応を行った。反応終了後、TLC にて反応の進行を確認し、シリカゲルカラムクロマトグラフィーに付し、酢酸エチル/ヘキサン（1/100~1/20）溶出部よりエステルを得た。

3. 結果と考察

初めに 2018 年度に本研究室で検討されたアクリル酸とベンジルアルコールでのエステル化反応をもとに脱水剤の検討を行った（Scheme 1）。



Scheme 1

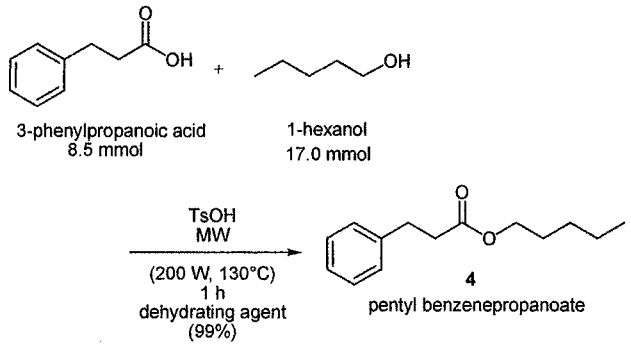
アクリル酸の沸点 141℃なので、マイクロ波の条件は 200 W、100℃に設定し、酸触媒には *p*-トルエンスルホン酸を用いて検討を行った。序論に記載したように、マイクロ波と物質の相互作用は光と物質の相互作用と同様に考えればよい。つまり、無機物はマイクロ波を吸収しづらい、あるいは反射してしまうと考えられる。その為、脱水剤として炭酸カルシウムや塩化カルシウムを用いて検討を行ったが、反応の進行はほとんど見られなかった（表 2 : entry1, 2）。次に、脱水剤としてポリアクリル酸を用いて反応を行った場合、反応の進行は見られたが一部ポリマー化が起こり単離することが困難であった。また脱水剤としてポリアクリル酸ナトリウムを用いた反応では容器内全体がポリマー化し単離が不可能であった（表 2 : Entry 3, 4）。

これらの結果によると、予想に反して、有機物である脱水剤を使用した反応はあまり良いものではなかった。そこで、無機物の脱水剤である硫酸ナトリウムを用いて反応を行った。その反応において進行は見られたが **2** の収率は 43%とあまり良い結果ではなかった（表 2：Entry 5)。続いて、シリカゲルと硫酸マグネシウムを用いて反応を行ったところ、それぞれ 70%以上の収率で **2** が得られた（表 2：Entry 6, 7)。そして最後に、園芸用の超微多孔質発泡セラミックス基盤（以下、セラミックス基盤）を用いたところ大きく反応の進行が見られ、80%を超える収率で **2** を得られた（表 2：Entry 8)。

表 1　脱水剤の検討

Entry	脱水剤	1 (原料回収)	2	3
1	Calcium carbonate	100%	—	—
2	Calcium chloride	76%	14%	10%
3	Polyacrylic acid	11%	83%	6%
4	Sodium polyacrylate	ポリマー化により単離不可		
5	Sodium sulfate	50%	43%	7%
6	Silica gel	16%	72%	12%
7	Magnesium sulfate	21%	75%	4%
8	Ceramics substrate	14%	81%	5%

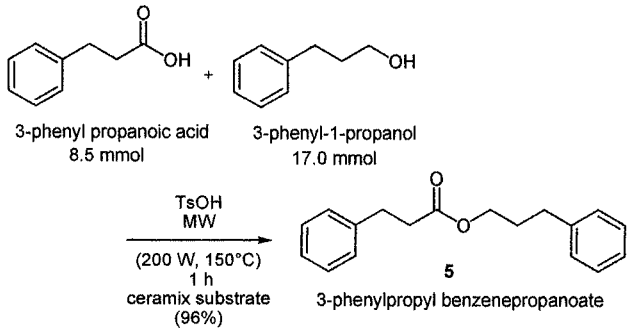
これらの結果より、脱水剤にはセラミックス基盤を用いることにした。しかしながら、アクリル酸とベンジルアルコールの反応では、過反応によりジベンジルエーテルやアクリル酸由来の重合体が生成されるうえ、80%前後の収率が限界であると感じ、この基質でのエステル化は難しいと考えた。そこで、2018 年に Chen らによって報告された論文をもとに、3-フェニルプロピオン酸と 1-ペンタノールを用いて、再度 *p*-トルエンスルホン酸とセラミックス基盤を用いて検討を行うことにした（Scheme 2)。[4] この条件で反応を行ったところ定量的にエステル **4** が得られた。



Scheme 2

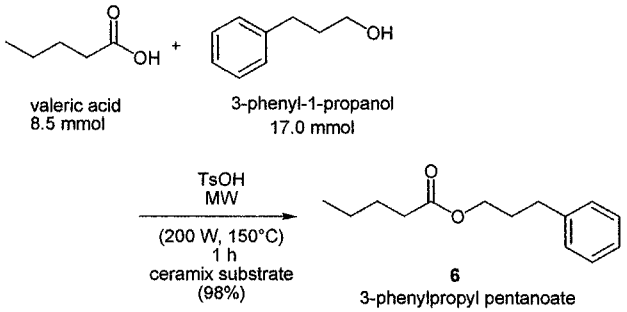
この結果より、エステル化・脱水縮合反応においてマイクロ波は反応速度に影響を及ぼすことが示唆されたので更なる適用拡大を目的に検討を進めた。

アルコールがベンゼン環を持つ場合に、エステル化反応は速やかに進行するのかどうかを明らかにするため、3-フェニル-1-プロパノールとの反応を行ったところ 96%の収率でエステル **5** が得られた(Scheme 3)。



Scheme 3

続いて、カルボン酸がベンゼン環を持たない場合に、エステル化反応は速やかに進行するのかどうかを明らかにするため、吉草酸と 3-フェニル-1-プロパノールとの反応を行ったところ、定量的にエステル **6** が得られた（Scheme 4)。



Scheme 4

これらの結果より、本研究室で開発した手法は反応に用いるカルボン酸やアルコールのベンゼン環の有無にかかわらず適応できることが明らかとなった。

4. 結論

カルボン酸とアルコールにおけるエステル化・脱水縮合反応において、本研究室で開発したマイクロ波照射下での手法を適用し検討を行った。その結果、本研究室で決定した手法は広い範囲で適応できることが確認できた。また、長時間かかるとされているエステル化反応を短時間で完了できマイクロ波の脱水縮合反応に対する触媒効果も確認できた。

5. 参考文献

1) 柳田祥三，二川佳央著「マイクロ波の新しい工業利用技術　“ナノ・微粒子製造から殺菌・環境修復まで”」p 1-43, エヌ・ティー・エス出版, 2003.
2) R. Gedye, F. Smith, K. Westaway, H. Ali, L. Baldsera, L. Laberge, and J. Rousell, “The use of microwave ovens for rapid organic synthesis” *Tetrahedron. Lett.*, **1986**, 27, 279-282.
3) B. L. Hayes, *Microwave Synthesis* “Chemistry at the Speed of Light” p 122-124, CEM PUBLISHING, Matthews, NC, 2002.
4) D. Chen, Y. Tian, M. Xu, X. Wang, D. Li, F. Miao, X. Yang, and L. Zhou, *Scientific Reports.*, **2018**, 8: 1797.

深層学習を用いた昇華転写プリントの色補正システムの開発

情報学専攻　佐藤　宏樹
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が複数ある。なかでも，昇華転写プリントは，ポリエステル生地やポリエステルコーティングされた素材に色鮮やかなフルカラー印刷することができるプリント方法である。しかし，原画像と完成したメディアの色に差が生じるため，印刷条件や転写条件を調整，印刷を繰り返す必要がある。そのため，転写紙や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。

そこで，本研究では，昇華転写プリント方式において，完成したメディアが所望の発色となるように，転写紙に印刷する際の原画像を補正する方法に着目し，深層学習を用いた昇華転写プリントの色補正システムおよび検証システムを提案する。また，色補正に失敗する色に対して再度，学習・色補正を行うことで，色補正精度の向上を図る。

2　昇華転写プリントと問題点

図 1 に昇華転写プリントの仕組みを示す。まず，PC 等で原画像を作成する。画像データに対して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，転写紙とポリエステル布などのメディアを重ねて転写機へ挿入し，加圧・加熱することで，メディアを染色する。

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，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補正システム

3.1　基礎事項

本研究では，原画像の L*a*b*値（以降，原画像 Lab）と評価対象の色との色差ΔE^*で予測精度を評価する。色差ΔE^*を式（1）に示す。

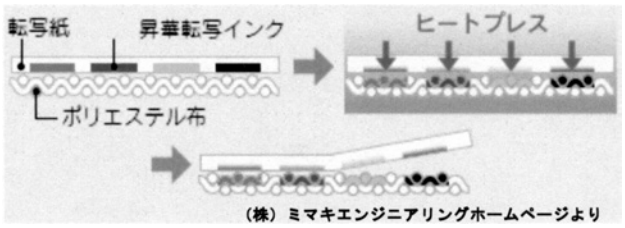


図 1　昇華転写プリントの仕組み

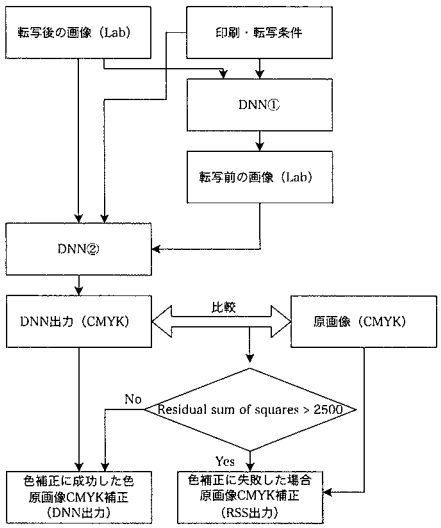


図 2　色補正システムの構造

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

ここで，L_e^*, a_e^*, b_e^*は評価対象の L*a*b*値であり，L_t^*, a_t^*, b_t^*は原画像 Lab である。以降，L^*, a^*, b^*をL, a, bと表記する。

本研究では，最大色差$\Delta E_{\max}^*$を基準参考値[1]における D 級許容差（25.0 以下）にすることを目標とする。

深層学習を用いた昇華転写プリントの色補正システムを構築するにあたり，カラーパッチが等しく，印刷・転写条件が異なるデータセットを 2 つ使用する。なお，データセット①は 120,960 データ，データセット②は 81,648 データある。

3.2　昇華転写プリントの色補正システム

本研究では，まず，原画像の CMYK 値（以降，原画像 CMYK）を予測するシステムを構築する（以降，CMYK 予測システム）。この CMYK 予測システムでは，2 つの Deep Neural Network（DNN）を学習させ，昇華転写プリントの各種条件である「転写後のメディアの Lab 値（以降，転写後 Lab），転写前の転写紙の Lab 値（以降，転写前 Lab）および印刷・転写条件」を入力とし，原画像 CMYK を予測するように学習を行う。

表 1　検証結果

			データセット①			データセット②		
			Original	DNN	RSS	Original	DNN	RSS
ΔE>=25.0		個数	31023	39655	27767	14363	22446	11566
		割合[%]	25.65	32.78	22.96	17.59	27.49	14.17
D 級許容差	ΔE<25.0	個数	89937	81305	93193	67285	59202	70082
		割合[%]	74.35	67.22	77.04	82.41	72.51	85.83
C 級許容差	ΔE<13.0	個数	40241	59914	56910	41760	46752	49830
		割合[%]	33.27	49.53	47.05	51.15	57.26	61.03
B 級許容差	ΔE<6.5	個数	8814	38679	34543	12365	33136	31009
		割合[%]	7.29	31.98	28.56	15.14	40.58	37.98
A 級許容差	ΔE<3.2	個数	348	16856	15034	567	19178	16152
		割合[%]	0.29	13.94	12.43	0.69	23.49	19.78

図 2 に色補正システムの構造を示す。この色補正システムは，CMYK 予測システムを拡張したものであり，CMYK 予測システムに入力する転写後 Lab を原画像 Lab（理想的な転写後 Lab）に置き換えることで，理想的な発色となるように原画像 CMYK を補正する。なお，DNN①，②は CMYK 予測システムを構築した際の学習済モデルを用いる。DNN②で予測した「原画像 CMYK 補正（DNN 出力）」と原画像 CMYK に対し，式（2）で残差平方和（Residual Sum of Squares: RSS）を算出する。

$$RSS = \sqrt{(C_c - C_o)^2 + (M_c - M_o)^2 + (Y_c - Y_o)^2 + (K_c - K_o)^2} \quad (2)$$

ここで，C_c, M_c, Y_c, K_cは原画像 CMYK 補正（DNN 出力）の値，C_o, M_o, Y_o, K_oは原画像 CMYK の値である。
RSS が 2500 以上を予測失敗とみなし，その時は原画像 CMYK を補正せず，原画像 CMYK を使用する。RSS が 2500 未満は，DNN の出力を補正値とする。以降，ここで RSS をもとに補正した原画像 CMYK 補正値を「原画像 CMYK 補正（RSS）」と呼ぶ。

3.3　昇華転写プリントの検証システム

この検証システムは，原画像 CMYK，転写前 Lab および印刷・転写条件を入力とし，転写後 Lab を予測するように，2 つの DNN を学習させたものである。これにより，実際に昇華転写プリンタおよび転写機が手元になくても検証が可能となる。

3.4　色補正に失敗する色の判別システム

3.3 で検証した結果，データセット①，②それぞれにおいて，本研究の目標値であるΔE25.0 以上のデータを色補正に失敗したとみなし，色補正に成功するデータには 0 のラベルを付与したデータ（以降，データ S），色補正に失敗するデータには 1 のラベルを付与したデータ（以降，データ F）を作成する。

ラベル付けを行なったデータを用いて，原画像 CMYK，原画像 Lab，および印刷・転写条件を入力とし，判別結果の 0 または 1 を出力するように DNN の学習を行う。作成した DNN の判別精度を検証した結果，データセット①では約 92.48%，データセット②では約 94.96%の確率で判別に成功した。

3.5　色補正の成否にデータを分けた色補正システム

3.4 より，色補正の成否にデータを分けた後，このシステムではデータセット①，②それぞれにおいて，データ S には，**3.2** で構築した DNN①，②を使用し，色補正を行う。また，データ F には，データ F のみで DNN①，②を再学習し，色補正を行う。それぞれの補正された DNN 出力に対して，RSS を用いた最終的な補正値を出力する。

4　検証実験

ここでは，**3.5** の色補正の成否にデータを分けた色補正システムを用いて，データセット①，②それぞれの原画像 CMYK を補正した場合において，その補正精度についての検証実験について述べる。

表 1 に検証結果を示す。ここで，Original は補正していない原画像 CMYK，DNN は「原画像 CMYK 補正（DNN 出力）」，RSS は「原画像 CMYK 補正（RSS）」を **3.3** の検証システムに入力し，予測した転写後 Lab と原画像 Lab の色差ΔE^*の値によりデータを分類した結果である。青文字は最も精度がよい値を表す。

検証結果より，データセット①，②のそれぞれにおいて，色補正を行なった方が，オリジナルよりも D 級以上の割合が高いことから，色補正を行うことにより，より理想的な発色になっていることが分かる。しかし，色補正後も色差が大きいデータが存在していることが分かる。

5　まとめ

本研究では，昇華転写プリント方式において，完成したメディアが所望の発色となるように，深層学習を用いた昇華転写プリントの色補正システムを提案した。その結果，色補正を行なった方がオリジナルよりもより良い発色となることが分かった。

今後は，色補正に失敗する色と，昇華転写プリンタでは表現できない色との関連について調査を行い，特殊な条件での色補正方法を検討し，色補正精度向上に繋げる。

参考文献

1)　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
動物分子生物学	海老原　充	マゼランペンギンの辛味受容体*TRPV1*の解析	内田　千尋
		アナグマのうま味受容体*T1R1*の解析	岸田　悠吾
		テンの甘味受容体*T1R2*遺伝子の解析	齊藤　紀香
		ワニガメの酸味受容体遺伝子の解析	杉田　圭吾
		メラトニン合成酵素COMTの発現系構築と酵素学的解析	鈴木　妃音
		コビトカバの甘味受容体*T1R2*遺伝子の解析	橋本　莉歩
		動物園と連携した希少動物の保護・繁殖のための鳥類雌雄鑑別	山本　未晴
		味覚受容体機能解析のための細胞構築	渡辺　初音
藻類代謝生理学	新家　弘也	ハプト藻*Tisochrysis lutea*におけるTAG合成遺伝子の発現解析	石井　俊仁
		脂質アルケノンの分解遺伝子の探索	石渡　亮
		ハプト藻 *Tisochrysis lutea*の長期培養における有用成分の変化	佐々木浩二郎
		オイル産生ハプト藻*Tisochrysis lutea*の重イオンビーム照射による改良	多田　悠
		湖沼におけるアルケノン生産種の探索	日向　優斗
		ハプト藻*Tisochrysis lutea*のオイル高産生候補株からのアルケノン高産生変異株探索	宮川　竜徳
		海洋性微細藻類のセレン要求性	矢口　隼大
		湖沼から単離した微細藻類の同定	山口　波音
生命創薬科学	飯田　博一	シアル酸誘導体とガラクトース誘導体の合成	内山　淳美
		マイクロ波照射下でのベンゼン環へのヨウ素導入	川﨑　紫乃
		マイクロ波照射下でのトラネキサム酸合成における酸化剤と溶媒の検討	河合かすみ
		トレンス試薬を用いた銀鏡反応におけるコスト削減と簡易化	齊藤　駿
		金・銀・銅イオンを用いた金属ナノ粒子による色の変化条件の検討	齊間　実佳
		マイクロ波照射下による4-PBA類似体の合成	都藤　藍
		効率的な4-PBA誘導体の合成法検討	中村　澪隼
		BPFL合成におけるマイクロ波の機器依存性	服部　令紋
		β-Galactoseを供与体、受容体としたシクロデキストリン合成	藤原　和実
細胞生物学	尾之上さくら	パルミチン酸転移酵素遺伝子を導入した大腸菌変異株リポ多糖の免疫反応	名本　朋広
		Campylobacter jejuni 由来パルミチン酸転移酵素遺伝子を導入した大腸菌のLPSによるサイトカイン産生能	石川　智大
		正常ケラチノサイト細胞における海洋細菌由来セラミドによる保湿能の検討	中島　涼
		Limosilactobacillus fermentum 由来ペプチドグリカンによるサイトカイン産生能	中林　祐太
微生物生化学	川原　一芳	*Aureispira marina* が持つセラミド構成成分の化学構造解析	阿部　朱麦
		植物由来乳酸菌のペプチドグリカンとグリセロ糖脂質の分析	内山　涼太
		共存可能な2種類のベクタープラスミドとパルミチン酸転移酵素遺伝子による大腸菌リピドAの改変	皆川　喬祐
		火落ち菌および関連菌株の栄養要求性と菌株脂肪酸分析	南　沙希
植物分子生物学	近藤　陽一	シロイヌナズナ UVR8 と転写因子 MYB12 の相互作用解析	飯田　龍河
		乾燥ストレス条件下における 4-PBA 類似体の生理活性評価	井深和佳子
		ゼニゴケ UV-B 受容体タンパク質の検出	大木　世儀
		ゲノム編集による *ZAT9H1* 欠損変異体の作製と解析	大関　優太
		4-PBA 類似体のオーキシン活性評価	兼井　秋斗
		無細胞タンパク質発現系によるMpUVR8 と MpMYB14 タンパク質の合成	小瀬　舞花
		植物に塩耐性を付与する有用遺伝子候補 *RRTF1* と *bHLH51* のシロイヌナズナを用いた解析	菊田　葵

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
真　菌　学	清水　由巳	*Wickerhamomyces psychrolipolyticus* が産生する細胞外分泌性リパーゼ遺伝子同定の試み	老川　玲海
		北海道利尻産酵母が産生するリパーゼの特徴	三木　　優
		Wickerhamomyces psychrolipolyticus の細胞外分泌性リパーゼの性質	鈴木　大貴
		細胞内小胞酸化に関わる Cap64p と相互作用するタンパク質検出法の構築	清田　瑛祐
		液胞型 ATPase 遺伝子 *VPH1* と DBB 染色の関与について	髙橋　瞭太
		Aspergillus niger コーヒー生豆分離株のオクラトキシン合成遺伝子発現とカフェインとの関係	寺尾　佳怜
		C. neoformans の heparinase 遺伝子ホモログ相補株作製の試み	中山　夏輝
		担子菌酵母による *Hypsizygus marmoreus* のゴム分解に関わる酵素ラッカーゼの合成	藤江　紘也
		白色腐朽菌によるイソプレンオリゴマーの分解	藤原　怜那
		白色腐朽菌 *Phanerochaete* sp. とブナシメジを用いたSBR 分解物の解析	篠塚　雄大
神経生物物理学	北村美一郎	ミミズの慣れに関与するセロトニン受容体の同定	森川　大地
		セロトニン受容体拮抗薬がミミズの慣れの成立に与える影響	八鍬　寿郁

〔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	2-デザインと有限射影平面	岩川　奈央
代　数　学	神蔵　　正	2次体における素イデアル分解 デデキント環 整拡大	伊藤　聖弥 桑沢　　潤 立川　智基
神経生物物理学	北村美一郎	ミミズ古典的条件づけにおける光刺激の影響 ミミズ古典的条件づけによる長期記憶に対する冷刺激の影響 ミミズの記憶生成におけるNO合成酵素阻害薬の影響 ミミズ古典的条件づけによる記憶の形成と消去	尾上　　諄 中川　優也 根岸　聖也 福田　丈浩
数　論 アルゴリズム	長尾　孝一	カードゲーム「algo」のPythonによる実装 ナンプレ解法アルゴリズムとTkinterによるアプリの実装	谷津実佐子 渡辺　　快
高エネルギー天文学	中嶋　　大	XRISM搭載CCDカメラの較正～有効観測帯域の最適化～ 次期X線天文衛星Athena搭載広視野撮像検出器回路の試作開発 X線天文衛星「すざく」によるX線連星系Circinus X-1の観測的研究 モンテカルロシミュレーションツールGeant4を用いた超小型衛星筐体の設計	朝比奈　遥 川原凛太郎 末澤　　涼 山上　尊也
数学教育	中和　　渚	中学校数学科「数と式」領域の方程式に関連した生徒の分数の躓きに関する研究 中学校数学科「関数」領域におけるICTを利用した教材開発	比護　　翼 山田　一輝
量子多体論	船木　靖郎	3天体の運動の数値シミュレーション 地球の周りを回る人工衛星の軌道の可視化 銀河系内にあるダークマターの質量の数値的解析 3体量子系の束縛状態の解析	種村　　凌 羽田　直樹 松本　拓真 山高　　光
理論物理学	山田　泰一	ビスマス・ミューオン原子の特性X線について 炭素13ラムダ原子核の束縛状態の研究	片岡　慎吾 村岡　大輔

〔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
化学工学	中山　良一	コラーゲン由来のケーシング膜を用いた物質透過性能の評価	村上　教希
環境衛生工学	鎌田　素之	新規農薬類の環境中の分解経路および分解物の物性等に関する調査	田部井瑞恭
		三次元蛍光マトリックスを用いた新たな水質管理の基礎的検討	井手　雄斗
		水道水中の微細粒子の存在実態	千吉良昌紀
		人工芝由来マイクロプラスチックの流量を考慮した負荷量の検討	仁井　恒輔
		紫外線照射に伴う人工芝の微細化の検討	畠山　大珠
		液中プラズマによる有機フッ素化合物分解	増田　詢太
基礎化学	山平多恵子	プロテアーゼ阻害剤設計に有効なアミノ酸の特定	緑川　雅基
		ペプチド型ヒストン脱メチル酵素阻害剤の側鎖の構造活性相関研究	東江　歩夢
		非天然アミノ酸を配列に含むヒストン脱メチル化酵素阻害剤の低分子量化研究	大石　成海
		プロテアーゼ阻害剤開発を目指したペプチドアルデヒドの合成研究	森井　和広
		酵素阻害剤設計に有効なアミノ酸の特定	山田　玲生
		非天然アミノ酸を含むヒストン脱メチル化酵素阻害剤の合成	遠藤　弘響
高分子化学	香西　博明	加硫ゴムの分解挙動における温度依存性に関する研究	池松　颯
		マイクロ照射を用いたフルオレン類の合成	宇多　雄大
		植物由来1,3-ブタンジオールとジイソシアネート類との反応性	中山ゆりは
		キセノンランプを用いたシクロオレフィン系ポリマーの挙動	藤岡　賢利
		白色腐朽菌によるシクロオレフィン系ポリマーの分解挙動	密島　理人
		新規なポリカーボネートジオールとジイソシアナート類との反応性	山崎将太郎
実装工学	小岩　一郎	銅-モリブデン合金電析めっき膜への塩橋の影響	天野　慎平
		医療用磁気デバイスにおける垂直磁気異方性薄膜に与える微量金属添加効果	石嶺　真聖
		フィッシャーエステル化法を用いた加水分解による有機無機ーハイブリッド材料の合成	伊原　海晴
		濃厚塩化カルシウム溶液を用いた電析モリブデン薄膜への塩橋の影響	帰山　晃康
		非水溶媒からのアルミニウム電析における薄膜の均一性	中尾亜優梨
		銅モリブデン合金めっき膜における微量金属添加および塩橋の影響	濱田　尚宏
		紫外線照射によりパターニングした樹脂基板上の無電解Ni-Pの選択析出	前山なつ海
電気化学	友野　和哲	竹炭/CNT基板上の2種の金属錯体を含む層状マンガン酸化物による光キャパシタ電極の評価に関する研究	阿部　真弓
		電子伝達剤であるMV添加による含Co錯体層状MnO_2の高容量化機構の創成に関する研究	稲葉　光亮
		層状MnO_2薄膜による液相中での環境汚染物質の吸着と吸着等温式からの考察に関する研究	櫻田　優香
		凝集能とイオン交換能を付与した層状マンガン酸化物薄膜による有機色素の分解とイオン選択制に関する研究	佐藤　匠
物理化学	松井　和則	メチレンブルーを用いた粉末酸素検知剤	小井戸瑞樹
		SMS:Eu,Dy長残光蛍光体のホウ素添加効果	福澤虎之助
		フェノサフラニンを用いた粉末型酸素検知剤の作製	伊藤　瑛浩
		$SrAl_2O_4$：Eu^{2+},Dy^{3+}の焼成条件による蛍光・残光特性の変化	大谷　大翔
		9,10-ビス（フェニルエチニル）アントラセンと$SrAl_2O_4$:Eu^{2+},Dy^{3+}の複合蛍光体の作製	片山　翔太
無機化学	濱上　寿一	銀パラジウムナノリングアレイの作製と評価	荒川　裕斗
		スパッタ法と熱処理を用いた銅系ナノ構造体の作製とLSPR屈折率センサ特性	伊藤　丈裕
		フレキシブル基板への銀ナノ構造体の作製	加藤　優稀
		金スパッタ膜の加熱による *in situ* 色調変化の観察	古林　明大
		蛍光性カーボン量子ドットの簡易合成と評価	清水　裕斗
		スパッタ法と温水処理を用いたプラズモニック銀ナノ構造体の作製と評価	藤村　快世

2021 年度春学期卒業生

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
基 礎 化 学	山平多恵子	酵素活性評価に用いる基質の合成と精製	大竹　千早

〔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	海外製廉価軸受の寿命評価（2021年度）	有賀　寿和
		グリースが封入された小径玉軸受のトルク変動とばらつき	清水　研吾
		グリースが封入された小径玉軸受のトルクのばらつき （1800min^{-1}および5400min^{-1}の場合）	山口　翔馬
		ディンプルのサイズおよび面積率がスラストころ軸受の焼付きへ与える影響	安ガイトウ
		フラーレン添加油を深溝玉軸受へ適用した際のトルクへの影響と軸受材料との関係	小島　拓也
		微量油潤滑における小径玉軸受に負荷される荷重と寿命の関係 （VG32を封入し，8000rpmで回転させた場合）	酒井　蓮斗
		円すいころ軸受内の潤滑剤挙動の可視化	平井　健
		機能性めっきを用いた潤滑油不要の転がり軸受の開発	水野　泰輔
計測制御	金田　徹	電気ニッケルめっきの作業効率の改善	稲葉　隆一
		頸椎の動きに関するモニタリングシステムの実用化に向けた基礎的開発	當山　翔太
		aibo®を利用したロボットセラピーの試み （ヒーリング効果向上のための動作制御）	曽　偉浩
		下流工程と連携した樹脂成形品（モバイルプロジェクタ）の3D設計 （DTPD規格・ISO GPS規格・JEITA普通幾何公差の適用）	志村　知紀 屋代　春輝
		ペニシリウム属を用いたソイカードの作成およびその風味の評価	濱平　大輝
機械情報工学	小松　督	商品PRをおこなうサービス作業に対する作業分析	柴田　卓実 千年　悠正
		ディープラーニングにおける予測精度向上法の検討	小林　龍人
		さまざまな宇宙ロボットシミュレータの特性解析	衛藤　大来 川瀬　燦 栗田　青輝
		錯覚を用いた歩きスマホの低減方法の検討	鈴木　康生
熱工学	辻森　淳	高速起動吸収サイクルにおける分縮器の性能解析	鈴木　玲和
		平板型蒸発器を有するループヒートパイプの熱輸送特性 （再起動の挙動の可視化）	稲葉　海斗 臼井　翼 小野　晃司 前平　辰 村田　陵輔
		高速起動吸収冷凍サイクルの検討 （分縮型気液分離器の特性）	成田　樹宙 樺島　大地 小平　俊哉 滝口　達也
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 （透過膜モジュールによる燃焼改善）	田中　和哉 下和田　海 松岡　和七
		廃プラスチック分解油を用いたDDFエンジンの機関性能とLCA評価	笹生　翔平 村山　太一 秋元　直樹 酒井　陽太
		オールドダットサンから学ぶ自動車技術の変遷 （車体構造の変遷および内装の修復作業）	荒井　勇斗 井村　海斗 原　海斗
		オールドダットサンから学ぶ自動車技術の変遷 （駆動系レイアウトの検証）	太田　隼斗 斉藤海森樹 柴田　航輝

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
トライボロジー	宮永　宜典	ウレアグリースで潤滑された転がり軸受のトルク特性	近松　大聖
		粒子画像流速測定法を用いたグリース流れの評価	西澤　圭悟
		摩擦特性に与える増ちょう剤粒径の影響	諸　嘉慶
		マイクロテクスチャを有する動圧スラスト軸受の潤滑特性	御手洗宏昭
		ファインバブルを含む流体で潤滑された滑り軸受の流体潤滑特性	早瀬　啓祐
		シール型スラスト軸受の流体潤滑特性におよぼすディンプル形状の影響	石井　亮太 野村　唯斗
機械工作	内山　光夫	高硬度材切削加工の研究 (磁石式装置による切りくず回収)	安座間理人
		電解三次元曲がり穴加工の研究 (長尺式電極による加工)	志村　朝海
		隅肉部のための摩擦攪拌接合の研究	眞野　大器 祖父江竜也
		電解三次元曲がり穴加工の研究 (長尺式電極による加工-その2-)	常世田侑樹 内藤　雄行
		切削油自己吸引による小径ドリル穴加工の研究	佐藤　太一 早坂　蒼一
		加工液内部循環による電解加工の研究	松澤　幸輝 岡　爽一郎
材料加工プロセス	柳生　裕聖	SF_6ガスを用いたシリコンのRIE加工特性	大塚　眞輝
		液相還元法による金ナノプレートの合成条件の検討	高橋　隆太
		金ナノ粒子を用いた屈折率検出用LSPRセンサの開発	角　清貴
		金ナノ粒子標識hCG抗体の光学特性の評価	中澤　圭吾
		金ナノプレート合成における合成条件の検討	田中　陸斗
		マイクロ流体デバイスを用いた金ナノプレート合成の高収率化	島田栄一郎
		PDMS/ガラス製マイクロ流体デバイスの作製条件の検討	舒　聖
		マイクロブラスト加工による3次元微細構造の作製	堀江　康樹
		マイクロブラスト加工における加工断面形状の高精度制御	寳福　繁刀

〔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　弘明	活性炭電極シートおよびセパレータ紙の枚数の違いによる電気二重層キャパシタの静電容量比較	倉科　昇平
		モル濃度および電流変化時における電気二重層キャパシタの静電容量比較	福地　洸裕
		アルミナの添加量によるエポキシ試料の複素比誘電率の変化	放生　一馬
		電気力線垂直形バリアを考慮した電気トリーのシミュレーション	高木　俵太
		電気力線平行形バリアを考慮した電気トリーのシミュレーション	石躍　和也
		電流積分電荷法を使用したLDPEおよびPET試料における蓄積電荷量の温度特性	岡本　凌河
		電流積分電荷法を使用したXLPEおよびPI試料における蓄積電荷量の温度特性	徳尾　和哉
		三種類の半球棒―平板電極系における部分放電特性の測定	伊藤　瑛人
電力工学	中野　幸夫	電気自動車の現状と今後の課題　～脱炭素に向けて～	井上　　翼 大瀧　良太
		北海道胆振東部地震に伴うブラックアウトの要因分析	唐橋　秀次 河合　雅貴
		VPP（バーチャル・パワー・プラント）の現状調査	本間　千晶
計算物性工学	島田　和宏	Rh_2O_3とIr_2O_3の結晶構造と弾性定数の第一原理計算	長谷川拓真 岩崎　　創 鈴木　結貴
		単斜晶M_2O_3（M＝Al,Sc,In）の電気伝導率、熱伝導率およびゼーベック係数の理論計算	千財　光貴 徳嶺　効成 西宮　大貴
		単斜晶Rh_2O_3およびIr_2O_3の電気伝導率、熱伝導率、ゼーベック係数の理論計算	藤井　篤志 羽生　大輝
光デバイス工学	石坂　雄平	新型コロナウイルス検出デバイスへの抗原抗体の定着度評価	川久保卓実
		金属アシスト型シリコンスロット導波路の金属の有無による性能比較	伊藤　亮太 窪田　大翔 佐原　幸樹 篠原　朋樹
		エアブリッジ型シリコン導波路のセンシング特性	森田　圭彦 山田　直樹 渡邉　洸一
		位相情報を考慮可能な周波数領域有限要素法ソルバーの開発	川村　翔太
並列分散工学	銭　　飛	SDNにおける品質制御（QoS）に関する研究	今野　寿綺 立川　大記 田中　一毅
		検索エンジン最適化（SEO）の仕組みと対策について	保坂　裕哉 原田　陸斗 遠藤　　昇
		ネットワーク研究環境へのDockerシステムの適用	井上　颯真
		SDNにおける負荷分散コントローラの実装	小椋　大輔 村松　直樹 谷　　悟
バイオメカニクス	高橋健太郎	プッシュアップトレーニングが50mクロール泳に与える影響	山畑　克海 熊澤　奈岐
		異なるトレーニングツール及びレジスタンストレーニングが体組成、身体パフォーマンスに与える効果	江田　優花 三平　陽月
		マスク着用が運動中の生理的応答へ与える影響	大塚　　望
		全日本ロードレース選手の走行時心拍数の変化	橋本　　翼
		バドミントンにおけるバックハンドサーブ時と打つ瞬間の視線移動について	石井　勇樹 深澤　誠斗

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
人間医工学	簑　弘幸	深層学習による多チャンネル脳波を用いたてんかん発作の検出の自動化	齋　隼人 宮岡　龍也 西川　太貴
		振戦に対する脳深部刺激療法の刺激パターンの影響	石野　巧 松本　雄太
		機械学習を用いた心拍パターンの分類	片野　晃樹 宮澤　陸 三好　菜摘
		位相振幅結合をもつ神経回路網における抑制性シナプス結合の役割	久保川純聖 西山宗志郎

〔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	大墨　礼子	数式処理における二項式の展開アルゴリズムと計算量の関係について	片山　楓
		微分方程式の数値計算ツールの開発	川浪　聖史
		ベジエ曲線を用いたグラフ描画ツールの作成	長野　亮祐
		線形計画問題の解法の計算時間に関する研究	西村　向陽
		判別式の計算における行列式計算アルゴリズムの計算速度と考察	藤岡　紗也
		連立一次方程式のプログラムでの解法について	山中　星二
		代数方程式の実数解の数え上げ方法について	淺賀　葉月
		留学生向け就職支援アプリケーションの開発	CHOENG SOPHEARAK
	岡本　教佳	OpenCV を用いた電動車椅子運転における事故検出	大崎　怜士
		料理レシピの自動作成	岡田　隼
		ライフスタイル認証による新たな認証要素の分析	村山　登哉
		顔認識を用いた眉メイクの研究	遠藤　玄貴
		Leap Motionによる指のジェスチャー操作の開発	浅尾　拓未
		キーストローク認証	斉藤　聖
		スマホの握り方による個人認証について	髙松　光洋
		日本語入力によるキーストロークを用いた継続認証	松平　優希
		可視光カメラを用いた虹彩認証方式に関する調査研究	井上由稀奈
	木村　新	Unityを用いた迷路ゲームの制作	陳　江南
		FFTを用いて画像を音に変換	鄭　嗣ミン
	高橋　聡	COVID-19に対する換気効果の評価	村上　雅尚
		ぷよぷよ初心者における定石を使った連鎖構成力向	太田代優真
		マスクの柄の印象調査	鈴木　淳也
		エージェントと人間の信頼感との関係の調査	阪元　馨介
		学内におけるCOVID-19の加湿・ワクチン効果	井村　颯汰
	塚田　恭章	ブロックチェーン技術を用いた文書管理システムの提案	磯野　汰月
		ブロックチェーンを用いた出席管理システムの提案	檜山　祐太
		ESP32による通常暗号と軽量暗号の性能評価	江頭　輝一
		Javaによるk-匿名化を達成するプログラムの実装と評価	齋藤　譲鷹
		ProVerifを用いたBluetoothの安全性解析：Passkey Entryモードの検証に向けて	河合　悠斗
		ProVerifを用いたTLS1.3安全性検証のためのAEADの形式化についての考察	佐藤　雄貴
		ProVerifを用いたOAuth2.0でのログインの検証	鳴原　汰我
		ハッシュチェーンを用いた認証方式のモデル化とProVerifによる安全性の検証	加藤　英仁
	永長　知孝	ラストワンマイル配送に用いるドローンの緊急時制御方式	水島　大輝
		安全な経路を案内可能な自転車用ナビゲーションシステムの構築	大平　祐稀
		Wi-Fi・Bluetoothを利用した車両接近警報システムの開発・比較	黒住　章人
		Wi-Fi,Bluetoothを用いた交通弱者・車両間通信システムのシミュレーションによる性能比較	小泉　空快
		車両・歩行者の位置管理システムにおけるスマートフォンアプリの開発	久田　龍斗
		会津美里町におけるデマンドタクシーの観光利用手法の評価	松下　柊平
		VRライディングシミュレータへ導入する危険な走行状況の検討	森松　大地
		慢性閉塞性肺疾患患者を対象とした「COPDライフ」のスマートフォンアプリケーションの開発とその検討	八重樫琴美

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
情　報	平野　晃昭	スマートフォンを用いた仮想キャンパス体験のVR動画の作成	池　浄
		土砂災害避難体験VRシステムの開発	中村　虹太
		Leap Motionを用いたVR学内案内システムの操作精度の更なる向上	清水　智也
		clusterを用いたVRオープンキャンパス制作	兒子　晃佑
		VRを用いた関東学院大学の施設内観案内システム	千葉　大地
		AndroidのAR経路案内アプリの作成	塩田　将士
		Vuforiaを用いたAR家具配置のCG安定表示	住吉　悠雅
		関東学院大学の建物内体験VR動画	松尾　遼
	水井　潔	Excelを用いたブーメラン方式の信号の解析	小松　直樹
		PCに内蔵されているwebカメラを使った防犯カメラについて	橋本　英生
		咽頭マイクと一般マイクの特徴の違い	荒井　寅行
		時間反転PN符号を用いたブーメラン方式の多重化の検討	丸山　知也
		差動符号化と時間反転PN符号を用いたブーメラン方式の検討	浅川　航輝
		研究室入退室通知システム	大場　祐樹
		FeliCaを用いた郵便物通知システム	佐藤　悠斗
		コロナウイルス対策のアプリケーション開発	清水　勇希
		雑音を用いたブーメラン方式の検討	鈴木　晴人
		Bluetoothを用いた歩車間通信の検討	森本　一輝
	元木　誠	深層学習を用いたドローン検出システムの開発	成田　凌也
		赤外線カメラを搭載したドローンによる救助システムの開発	鈴木　紗英
		深層学習による4脚ロボットの荷物輸送動作生成	檜垣希友人
		深層学習を用いた高齢者見守りシステムのための行動認識システムの検討	吉本　啓生
		マルチエージェントシステムを用いた災害発生時における避難経路の混雑度合いの予測	大澤　直也
		AIリテラシー教育を目的にした教育手法の検討	前田向日葵
		チャットボットおよび決定木モデルを用いた図書推薦システム	張　鼎
		ARKitを用いた図書館ナビゲーションシステム	髙橋　汐音
	本橋　友江	5×5×5ルービックキューブの解法	森下　望
		待ち時間ありの最適経路選択モデルの構築と検証	王　瀛成
		運搬経路問題の応用	阪本　彩乃
		ブリッジパズルのアプリ製作と解法の研究	佐々木一葉
		4空港のある都市間を結ぶ最短経路	張　昆
		お絵描きロジックの複数解について	中島　史博
		麻雀ソリティアのアプリ開発	松林　佑一
	山本　政宏	5軸ロボット・アームとチェス・ボードの制御構築	ｸﾞｴﾝ･ﾌｫﾝ･ﾘﾝ
		Wi-Fiユニットを用いた研究室の鍵の位置検知システム	佐賀久美香
		健康維持のための飲酒管理アプリの制作	馬渕　優人
		ESP-WROOM-32を用いた万歩計の構築	山田　利貴
		守衛室での鍵管理システムの構築	花田　皓

〔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
コンクリート工学	出雲　淳一	細骨材の種類がモルタルの流動性および強度に与える影響について	加藤　葵 高松　功
		PCグラウト材に細骨材を混合した場合の流動性・強度・収縮量について	岸本　和也 馬場　海東
		増粘剤がモルタルの流動特性に与える影響について	髙山　拓哉
		細骨材に珪砂を用いたモルタルの流動性および強度について	三浦　敦 藁間　皐誠
地盤防災工学	規矩　大義	貫入試験装置の先端に内装した圧力計の間隙水圧応答に関する基礎的実験	近藤　篤史 小菅　一聡
		中空ねじりせん断試験から得られた液状化強度比の評価	相田　翔汰 松島　龍也 ELAHY KAZI FAZLA
		繰返し中空ねじりせん断試験中に発生する問題に対する改善策	川瀬　優 五味　竜太 向川　流生
		動的貫入試験で得られた打撃前水圧を用いた地下水位の簡易推定法	久保田健斗 武藤　拓海
		液状化ハザードマップにおける空間補間の検討	多胡　成美
		iPDCによる液状化後の地盤における剛性低下率の推定	田村　雅弥
都市防災学	鳥澤　一晃	深層学習による物体検出技術を用いた熊本地震航空写真からの車両検出と精度検証	大畑　凱央
		地震後の車中避難状況把握のための航空写真に基づく車種分類の深層学習モデルの検討	宇佐美恭平 高野　泰
		熊本地震における避難者数と携帯電話位置情報データに基づく推定人口との関係	長森　翔 吉田　兼士
		ディープラーニングを用いた熊本地震での避難所周辺における車両台数分布推定の検討	古谷　一樹 松尾　幸汰
		熊本地震における複数の携帯電話位置情報データ間での推定人口分布の比較	水野　光 皆川　武司
		GISを用いた東海道新幹線沿線での最大降雨分布予測に基づく運転規制への影響評価	大場　貴史
		作業実績データに基づく東海道新幹線の急曲線区間でのまくらぎ更換効果の統計的分析	鯛　康平
耐風・風工学	中藤　誠二	懸垂状構造物の対風挙動の動画解析	宇野　洋平
		エア遊具の風による浮き上がりを想定した風洞実験	佐藤　星河
		風力発電から生じる空力音の近距離場の圧力測定	清水　大晴
		風向及び列車速度が耐風安定性に及ぼす影響	宮寺　翼
		防風柵の形状が空力特性に及ぼす影響	高田　夏樹
		トンネル内作業の換気に及ぼすファンによる風速分布の影響	太附　篤
		トンネル内作業におけるファンによる換気効果のCFDによる検討	宮崎　貴央
防災水工学	福谷　陽	2019年台風15号による横浜市金沢産業団地の浸水測量調査	小野　謙太 坂井　碧人
		不確実性を考慮した構造物の津波安全性評価	今松　毅 大野　裕平
		段波による土砂流出量に関する実験的検討	垣内　美穂 須藤　唯斗
		岐阜県各務原市の河川氾濫による水害リスク評価	込山　博貴 田島　史也

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
地球内部物理学	前田　直樹	侍従川河口付近における常時微動測定	安達　圭冬 吉田　匠吾
		鷹取山ハイキングコースにおける尾根筋の常時微動測定	臼井　祥太 林　正則
		金沢八景キャンパスの交換可能な地盤データの作成について	齊藤　晴希 王　楠淇
		ダム湖と周辺地域における地震活動との関係性	鈴木　智大

〔建築・環境学部 建築・環境学科〕

専門分野	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	野生を着る 半屋外空間でつつむ　防風林の中の自然療養地 グラス・ホーム　保護犬が暮らす新しい居場所 離婚しても住める家　多様な家族のかたちに対応する住まいに関する研究 さわるとわかる庭園美術館 多世代の「わ」 子育て世代のためのワークプレイス	江島　凌輔 小野田太平 佐久間杏美 澤田　結衣 柴田　美波 諏訪　朱音
建築デザインコース		ココロの容	関口　翔太
すまいデザインコース		自然の中のリトリート施設 はざまの長屋　きょうだい児のためのサードプレイス 1/√2の茶室　かわいいインテリアの模索	寺島　優花 内藤伊乃里 山﨑　真美
すまいデザインコース	黒田　泰介	家すがらのシェアハウス　－「家開き」－ 湯落　湯を楽しむ集落	相吉　貫佑 上嶋悠樹斗
建築デザインコース		Highway Heal　首都高利用者のやすらぎ空間	徳田　博輝
都市再生		高知城の防衛設備について	濱田　昌希
すまいデザインコース		グリム童話の挿絵にみる建築　～オットー・ウベローデの挿絵との比較～	前田　美結
建築デザインコース	古賀　紀江	放課後等デイサービス施設利用児の施設環境に関する研究 児童行動の傾向の分析による施設環境の向上について	秋元　悠叶
すまいデザインコース		大学生の避難行動の認識に関する研究 ～大災害に遭遇した時の行動イメージの分析～ 日常の運動量の実際から考える健康これからの起居様式 大学生の生活姿勢調査からの考察 個人による高齢者グループリビングの設立過程に関する研究 ～居住者による設立事例と地域活動が土台の設立事例に基づく分析～ 集団に着目した現代コミュニティ試論 子供時代の遊び場所調査の分析を中心とした考察 同じ地域に暮らす家族と友人・近隣の存在がコミュニケーション環境に与える影響 成り立ちの異なる二地域を対象としたアンケート調査による比較 世代交流による新たな大学町を生み出す計画	阿部　詩織 入江　拓摩 岩壁　薫子 岩間　　蓮 加藤　静帆 中村　将吾
建築デザインコース		オンラインによるビデオ通信場面における対人感覚に関する研究	野﨑　　光
すまいデザインコース		こども食堂の成り立ち －地域コミュニティにおけるこども食堂の運営実態の分析からの検討－	濵　　竜司
建築デザインコース		Lively 都市にイエナプラン教育公立校を	松田　朋樹
建築・都市再生デザインコース		まちの使い方から見た大槌町の現在　震災による生活環境調査の分析	前原　大樹
建築デザインコース		近年のまちおこし、まちづくり、地域活性化の傾向と分析	阿部　良平

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
建築デザインコース	酒谷　粋将	触れたい家 創造をかきたてる佇まい	荒川　百花
		都市空間における可視性に基づく潜在的ランドマークに関する研究	石谷　剛之
すまいデザインコース		室内旅行 ～横浜周辺のランドマークを集めたホテル～	岡田　優香
建築・都市再生デザインコース		CAMPUS　WALL	刑部　克輝
すまいデザインコース		集まってすまう。一家を解体する。	香川　唯
		通えるふるさと　後継者不足の農業と新しい生活様式との融合	北村　望
		選択肢の多い家　～住みながら変化する家～	田中　郁帆
		持続的なまちづくりの主体が持つクリエイティブ・コンフィデンスに関する研究 －ヨコハマ市民まち普請事業の整備事例を対象とした聞き取り調査を通して－	村田　美樹
建築・都市再生デザインコース		建築のCo-designのプロセスを支えるオンライン対話ツールの構築	森　龍也
建築デザインコース		知のみち参道　中学校の特別教室をまちのための特別教室に	吉村龍太郎
建築・都市再生デザインコース	中津　秀之	農業でつながる街　－ 農業の再生の為に －	足立　崚
建築デザインコース		つなぐ	風間　楓
建築・都市再生デザインコース		看板建築の裏側　上町銀座商店街の住空間	工藤美由紀
		文藝翻訳による空間形成　～私の空間理解のための指標～	小山　更菜
		新たな都市の結節点　－地下鉄桜木町駅の駅ビル再開発－	佐々木一成
すまいデザインコース		街の拡大　～1周できるアートな街に～	早坂　優輝
建築・都市再生デザインコース		繰らしの中のワイナリー　－地域プライドの継承－	保坂　竜也
すまいデザインコース		川をのぞむまち　団地リノベーションを中心とした拠点の設計	星野　梨音
建築・都市再生デザインコース		紡ぐ　－地域拠点としての水上バス駅の提案－	村瀬　巧
		ぐるり　－ゆるやかな循環を生む街－	中島　理仁

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
建築デザインコース	柳澤　潤	街のベースキャンプ　地域のアクティビティを活性化	安東　伊織
		街の結び目　－公共空間の在り方について－	鹿島　栞
		追浜小開発　まちなか広場	加藤　始氣
すまいデザインコース		記憶の忘れもの	菊地真緒佳
建築デザインコース		00 式横須賀　地形を更新する都市近郊における再開発	黒柳　静希
すまいデザインコース		空・海・緑　～目的を限定しない公園の構築～	堤　友梨子
環境共生デザインコース		町の集約　公共空間とのつながり	戸田　諒
すまいデザインコース		萌え沈む都市　地球と人間、それぞれの生命活動の相互関係を築く都市の在り方の提案	永山　千夏
建築デザインコース		シン稲村ヶ崎	堀園　翔太
		アートなアキバ　秋葉原が“アキバ”であるために	村田錬太郎
環境共生デザインコース	大塚　雅之	自動水栓を用いた手指洗浄と感染防止に関する研究 －除菌効果及び節水性の両面から性能評価－	板橋　芽美
		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3 排水立て管システムの排水能力と搬送性能の検討－	井野　勇斗
		ALC中層集合住宅に適用する専用排水立て管システムの開発 －その2　排水負荷方法の違いによる排水能力影響－	大谷　奈生
		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　　－異種管径への適用の可能性－	金子　昇太
		大便器洗浄時の飛沫発生とその抑制に関する研究	國谷　温
		ALC中層集合住宅に適用する専用排水立て管システムの開発 －その1 各種システムの排水能力と適用高さの把握－	佐藤菜々美
		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7　既存排水管の排水能力の向上手法の検討－	髙木　仁美
		ゼロウォータービル実現に向けての可能性と課題	高橋　伶佳
		狭小地に建つ戸建住宅における排水横枝管での搬送性能に関する検討	髙山晃太朗
		トイレ空間に設置された無水小便器の衛生性に関する評価	長谷川　嵩
		オフィスコンバージョンへのハイブリッド排水システム適用に関する研究 －小口径床上配管システムの適用－	花田　恭平
	遠藤　智行	ニューラルネットワークによるグロス建蔽率が変化した場合の建物壁面における風圧係数分布の予測	石井　海斗
		縦旋回流型換気システムにおける在室者数の増減による影響の検討	石垣　巧海
		オフィスビルにおける水平・垂直併用型天井放射空調システムの効果	石原　理花
		有効な設備計画を目的としたニューラルネットワークによる風速・風向の基礎的検討	折橋　蓮
		自然換気を併用した大学教室における空気環境と窓開けの有効性	河瀬　翔太
		ATP測定法による空調フィルターの使用経過に伴う汚染度変化に関する研究	清水　一生
		複数のヒートポンプ空調機が設置された大空間における温熱環境・消費電力の検討	須田有季加
		開口部風下側にウインドキャッチャーを設置した際の通気特性評価	髙橋勇之介
		大学教室における自然換気効果の検討	宮本　樹
		トイレ個室ブースにおける排気口位置の違いによる空気環境の変化	矢作　貴太
		オフィス空間に適用した異なるダブルスキンにおける夏期・冬期の室内温熱環境に関する検討	分部虎太郎

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
環境共生デザインコース	中村　秀親	劇場・ホールの電力負荷密度の動向に関する研究　その1　ホール形式と負荷密度の関係について	安齊　燦太
		劇場・ホールの電力負荷密度の動向に関する研究　その2　収容人員と負荷密度の関係について	多々木　秀
		新築ビルディング電気設備データファイルによる電力負荷密度の動向に関する研究	石原　知起
		劇場・ホールを主用途とした複合施設の電力量の調査　その1　年間電力量の変動について	大谷　峻平
		劇場・ホールを主用途とした複合施設の電力量の調査　その2　負荷種別による電力量の変動について	海野　丈生
		熱画像測定による油入変圧器の劣化診断に関する研究　その1　経過年数と表面温度変化の関係	土方　拓海
		熱画像測定による油入変圧器の劣化診断に関する研究　その2　油入変圧器の負荷率と表面温度変化の関係	竹内　勇貴
		戸建住宅基礎の代用接地極に関する研究　－べた基礎の検討－	谷藤　翔麻
		等価表面積置換法・等価体積置換法を用いた戸建住宅基礎の接地抵抗の推定に関する研究	杉田　賢哉
		戸建住宅基礎の代用接地極に関する研究	高山　和也
		熱画像測定による電気設備の劣化診断に関する研究　　油入変圧器の劣化診断について	藤原　一真
	山口　　温	外気導入がダブルスキンを有する室の温熱環境に与える影響	伊藤　拓斗
		既存住宅の温熱環境実測と段階的な環境改善提案 －その1 建物概要と年間の温熱環境実測－	大脇孝太郎
		既存住宅の温熱環境実測と段階的な環境改善提案 －その2 夏期における温熱環境改善の検討－	惣藏　貴大
		保育施設の現状把握及び建物形状別の熱負荷に関する研究	片桐　　陸
		トイレ空間における環境改善の提案 －換気方式の異なるトイレ空間における温熱環境実測及び環境評価－	濵本　康平
		避難所利用における光環境と視認性及び空間評価	増田　一輝
		保育施設における温熱環境の実態把握と改善提案	渡辺　紗也
		ダブルスキン内の温度抑制に向けた外気導入の影響	小野寺瑛斗
		室内緑化がリモートスタイルの環境評価に与える影響	薬師寺祐風
		避難所利用における冬期の温熱環境に関する研究	川守田智美
建築材料・施工サブコース	中島　正夫	養生方法がセメント強度に及ぼす影響に関する実験的検討	遠藤　　翼 遠藤　大斗
		屋根下地材として加熱された木材・木質材料の曲げ強度	島村慎之介 山口　　剛
	李　　祥準	サーモカメラを搭載したドローンによる建物劣化診断に関する基礎調査	梶ヶ谷永智 青柳　勇希
すまいデザインコース		セルフリノベーションによる空き家再生プロジェクトの持続性に関する基礎調査 「八景市場 ANNEX」を中心とした金沢文庫地区でのまちづくりを対象として	石田　綾野
建築材料・施工サブコース		平成の合併を経験した自治体の財政状況 －公共施設の維持管理の観点から－	加藤　菜緒
		建物診断の簡略化を目指す診断アプリの開発	加藤　　亮 鈴木　翔大
		空き家活用におけるクラウドファンディングの利用	佐藤　和馬
		学校校舎の老朽化 東京都23区の現状	佐野　仁基
		日韓の空き家問題に関する比較研究	沼田　理紗
		介護難民減少に向けた高齢者向け施設に関する基礎調査	古澤　颯太

専門分野	指導教員	研　究　テ　ー　マ	氏　名
建築構造サブコース	神戸　渡	損傷を受けた木造耐力壁の金物による筋かい接合部の補修	間庭　正晴 山崎　樹
	高島　英幸	遺伝的アルゴリズムによるトラス構成部材の最適配置探索 －探索システムの構築と効率性評価－	安藤　真伍
		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	冨澤　倫平
		岐阜県白川郷旧中野義盛家を対象とした構造解析モデルの検討 －小屋組梁接合部剛性が与える影響－	中島きなり
		国宝円覚寺舎利殿の構造挙動における三手先斗栱の効果	江口　航平
	渡部　洋	鉄筋コンクリート造柱梁接合部の損傷過程	甲斐麟太郎

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

2022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