昭和47年10月19日第4種学術刊行物許可　2021年1月15日発行（奇数月）　ISSN 1346−7719　フルードパワーシステム

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Jan. 2021　Vol. 52　No. 1

特集「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」

JFPS　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　http://www.jfps.jp

ISSN 1346-7719
第52巻　第1号　2021年1月

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

FLUID POWER SYSTEM

目　次

【挨拶】

新年のご挨拶　眞田　一志　4

年頭にあたって　早川　恭弘　5

特集「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」

【巻頭言】

「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」発刊にあたって　山田真の介　6

【解説】

風速を測ることと風災害への対処　舩木　達也　7

海象現象の予測　竹下　彰　12

令和元年東日本台風にともなう千曲川水害について　豊田　政史　17

地震による液状化現象　飛田　哲男　21

最近の高波・高潮による港湾施設の被害状況　鈴木高二朗　26

【会議報告】

コロナ禍でのROBOMECH2020とフルードパワー技術研究の動向　山田　泰之　30

【トピックス】

学生さんへ，先輩が語る―油空圧機器メーカの工場より―　亀田　尚人　32

アメリカでの在外研究生活　西川原理仁　35

【研究室紹介】

宮城教育大学　門田研究室　門田　和雄　38

【会告】

理事会・委員会報告	41
2020年度ウィンターセミナー「フルードパワーシステムにおける解析技術」	41
「名誉会員　高橋浩爾氏の逝去を悼む」	42
共催・協賛行事のお知らせ	43
一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会賛助会員一覧表	44
日本フルードパワーシステム学会論文集51巻（2020）抄録	45
会員移動	47
次回予告	48

■表紙デザイン：浅賀　美希　勝美印刷㈱

一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園３―５―22 機械振興会館別館102
TEL：03―3433―8441　FAX：03―3433―8442
E-Mail：info@jfps.jp

FLUID POWER SYSTEM

ISSN 1346-7719
Vol. 52, No. 1 January 2021

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

【Greeting Message】

New Year Greetings from the President — Kazushi SANADA — 4
Greetings of New Year from the Vice President — Yasuhiro HAYAKAWA — 5

Special Issue "Fluid Phenomena and Fluid Power Related to Natural Disasters"

【Preface】

On the Special Issue "Fluid Phenomena and Fluid Power Related to Natural Disasters" — Masanosuke YAMADA — 6

【Review】

Measuring Wind Speed and Dealing with Wind Disasters — Tatsuya FUNAKI — 7
Prediction of Marine Phenomena — Akira TAKESHITA — 12
The 2019 Flooding in the Chikuma River Basin — Masashi TOYOTA — 17
Soil Liquefaction — Tetsuo TOBITA — 21
Damage to Port Facilities Caused by Recent Typhoons — Kojiro SUZUKI — 26

【Conference Report】

Trends in Fluid Power Research and Technology from ROBOMECH 2020 Under COVID-19 Pandemic — Yasuyuki YAMADA — 30

【Topics】

Senior talks to students- Letter from Hydraulic and Pneumatic Factory- — Naoto KAMETA — 32
Overseas Research Life in the United States — Masahito NISHIKAWARA — 35

【Laboratory Tour】

Miyagi University of Education Kadota Laboratory — Kazuo KADOTA — 38

【JFPS News】

41,42,43,44,45,47,48

The Japan Fluid Power System Society
c/o Kikaishinko Building
3-5-22 Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo, 105-0011, Japan

挨拶

新年のご挨拶

著者紹介

眞田一志（さなだかずし）
横浜国立大学大学院工学研究院
〒240－8501　横浜市保土ケ谷区常盤台79-5
E-mail：sanada-kazushi-sn@ynu.ac.jp

1986年３月東京工業大学大学院理工学研究科修士課程制御工学専攻修了．1986年４月東京工業大学助手，1998年横浜国立大学工学部生産工学科助教授，2001年横浜国立大学大学院助教授，2004年横浜国立大学大学院教授，現在に至る．2018年度から，日本フルードパワーシステム学会長．

新年，あけましておめでとうございます．本年も，何卒よろしくお願い申し上げます．2021年の年頭にあたり，新年のご挨拶を申し上げます．

2020年の年初以降，新型コロナウイルス感染症の流行にともない，緊急事態宣言を経て流行拡大を繰り返しております．この状況をうけて，まことに残念ながら2020年春季の講演会を中止せざるを得ず，また創立50周年記念事業と国際シンポジウムも約１年の延期を余儀なくされました．このような中，2020年秋季の講演会は，対面方式とリモートのハイブリッドで開催しました．各種イベントも，リモートと一部対面を組み合わせて開催してまいりました．ただ，冬季を迎え，再び感染拡大傾向がうかがわれることから，事業の実施にあたっては慎重に検討してまいります．

2021年の春季講演会と創立50周年記念式典は，リモートと一部対面を組み合わせて実施するよう準備しております．創立50周年記念祝賀会は，基本的に対面で実施するよう，開催時期を慎重に検討しております．

本学における大学などの講義も，2020年の春学期は完全に遠隔授業でした．９月以降，一部学生実験で対面の授業を開始し，10月以降の秋学期は学生実験を対面でも行い，遠隔授業と組み合わせて授業を実施するようになりました．研究室活動も，感染予防対策を徹底し，徐々にではありますが実施できるようになってきました．

当学会の各種委員会も，これまで主としてリモートで開催してきましたが，当分は基本としてリモート会議を継続することになりそうです．私個人は，新型コロナ以前はWEB会議の経験はまったくありませんでしたが，次第にソフトの使い方，WEB会議の進め方などにも慣れてきました．インターネットは，国内外に広く普及しており，地理的に離れていても，WEBを介して会話を交わすことができる便利なツールです．しばらくはこの状況が続くことを前提とすれば，当学会の各種委員会に限らず，国内外の講演会や国際会議も，WEBを活用した開催方式をいかにして活用するかが，今後の学会活動の活性化にとって重要な課題であると考えております．

リモート講義の方法も，単純にPPTに音声を吹き込んだ資料を配信する方法から，録画を配信する方法，ライブで講義を配信する方法など，各教員が試行錯誤で実施されてきました．最近では，黒板の前で教員が講義する様子をライブ配信しつつ，リモートで参加する学生を大型スクリーンで写し，双方向性を担保しながら授業を進めるハイブリッド方式など，より進んだ方法が開発されつつあります．国内外の諸学会のシンポジウムでもさまざまな方法が開発されています．それらの方法を参考にしつつ，当学会に適した開催方法を模索していきたいと思います．副会長，理事，監事の皆様と力を合わせ，この難局を乗り越えていく所存です．

最後に，皆様のご健康とますますのご繁栄を祈念して，新年のご挨拶に代えさせていただきます．

（原稿受付：2020年11月19日）

挨拶

年頭にあたって

著者紹介

早川恭弘（はやかわやすひろ）
奈良工業高等専門学校
〒639-1080 大和郡山市矢田町22

2006年奈良工業高等専門学校電子制御工学科教授，現在に至る．空気圧を用いた福祉介護機器開発の研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，日本ロボット学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

新年あけましておめでとうございます．年頭にあたり，副会長としてご挨拶を申し上げます．

コロナ禍において，今期２期目の眞田会長を強力にバックアップし，学会活動をより活発にすることを目的として，これまで副会長１期２年を務められた法政大学　田中豊先生および，川崎重工業株式会社　嶋村英彦様の２名体制から，私を含めた３名体制になりました．

一昨年は，嶋村様が，昨年は田中先生が年頭のご挨拶をご執筆されましたので，今年は，私から，年頭にあたりご挨拶をさせていただきます．

2. 学会設立50周年記念事業

1970年に日本油空圧協会が発足してから50周年の節目であった昨年は，記念事業や記念式典が執り行われる予定でした．しかし，多くの会員の皆様のご支援・ご協力を賜りながら，コロナ（COVID-19）の影響により記念式典の計画が大幅に変更となりました．具体的には，昨年の５月29日（金）に開催される予定だった学会創立50周年記念式典は，今年の６月24日（木），25日（金）に開催される春季講演会・総会に合わせて開催される予定となっております．また，祝賀会に関しましては，時期を改めて開催されることとなっております．今年こそ，会員の皆様と一緒に50周年記念式典を盛大に開催したいと思います．また，記念出版に関しましては，50周年記念誌および機能性流体に関するテキスト（機能性流体入門～基礎と応用～）の出版が予定されていますので，楽しみにしていただきたいと思います．

3. 学会活動

講演会関係では，昨年の春季講演会に関して，講演申込み，講演スケジュールの作成など，ほぼ準備が終わっている状況でしたが，コロナ感染症の拡大により，講演会自体を中止せざるを得ないこととなりました．また，昨年，函館で開催予定だった国際会議も今年の10月11日（月）～14日（木）に延期となりました．そのため，急遽，昨年の12月８日と９日に秋季講演会を企画立案・実施する運びとなり，岡山理科大学とオンラインで同時開催をすることとなりました．

セミナー，研修会，教育講座の開催に関しても中止または実施方法の大幅な変更を求められました．対面での実施以外に，オンラインでの実施など，コロナ禍における最適な実施方法を検討していますので，会員皆様方のご理解とご協力のほど，よろしくお願い申し上げます．

国際交流に関しては，コロナ禍の影響により，若手研究者の中国派遣や国際会議への参加が難しい状況になっています．しかし，今年は，函館での国際会議以外に，フルードパワーに関する日中韓ワークショップが開催予定となっています．会員皆様方の積極的なご参加をお願い申し上げます．

4. 基盤強化

学会正会員数は，昨年度微増となりました．しかし，年度末には定年や移動により，多くの正会員が退会する状況が続いています．コロナ禍にある今年も引き続き当学会の会員数を継続的に増やしていくことが重要な課題と思われます．そのために，若手研究者や技術者に対して，フルードパワーのさまざまな分野における応用の可能性を示していくことで当学会の魅力を積極的に発信し，さまざまな活動を継続して参ります．

アーカイブの整備に関しては，学会ホームページのリニューアルを始め，2001年第32巻より2019年第50巻までの会誌が電子化されており，会員専用メニューの充実を行なっていますので，積極的にご活用ください．

5. おわりに

今年は，講演会，学会創立50周年記念式典および国際会議などさまざまな学会行事が開催されます．当初の計画から大幅な変更を余儀なくされている状況下において，各行事を成功させるためには，会員皆様のご理解とご協力が必要になります．昨年のコロナ禍における学会運営を教訓に，さらに学会活動を活発にしたいと思います．副会長としても，皆様のお役に立てるように，さまざまな課題に対して積極的に取り組んで参りたいと思います．

2021年が会員の皆様にとって良い新年となりますことを祈念し，副会長の新年のご挨拶といたします．

（原稿受付：2020年11月11日）

巻頭言

「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」発刊にあたって

著者紹介

山田　真の介（やまだ　まさのすけ）
株式会社TAIYO
〒541-0051　大阪市中央区備後町2－6－8
サンライズビル12F

2001年大分大学大学院工学研究科博士前期課程修了．同年，株式会社TAIYOに入社，研究開発，営業技術，商品開発を経て現在Marketingに従事，現在に至る．日本フルードパワーシステム学会会員．

昨今の気候変動の影響もあり，世界各地でさまざまな自然災害が発生しており，人命や社会的活動に被害が生じることが増えてきている．

近年の海外での災害例としては，

2017年７月ハリケーン・バービー（米テキサス州）
2017年９月メキシコ内陸地震（M7.1）
2017年11月イラン・イラク地震（M7.3）
2017年12月台風27号（フィリピン南部）
2018年９月インドネシア・スラウェシ地震（M7.5）
2018年11月米カリフォルニア州山火事
2018年12月インドネシア・アナククラカタウ島噴火・津波発生

などが起こっている．

日本においても同様で，災害大国と呼ばれているように，暴風，豪雨，豪雪，洪水，高潮，地震，津波，噴火などの現象による被害がしばしば発生している．

近年の日本での災害例をあげると，

2016年４月熊本地震および大分県中部地震
2016年８月台風７，９，10，11号の大雨や暴風
2017年７月九州北部豪雨（福岡，大分）
2018年６月大阪北部地震
2018年７月西日本豪雨（広島，岡山，愛媛）災害
2018年９月台風21号の関西国際空港水没，連絡橋への船の衝突
2018年９月北海道胆振東部地震
2019年９月台風15号，19号
2020年７月熊本を中心とした豪雨

などは記憶に新しいと思う．これらの自然災害では，土砂災害，暴風や高波などによる被害が甚大であった．上記以外でもゲリラ豪雨での河川・内水の氾濫は，しばしば発生している．

このような自然災害には，流体に関わる現象が比較的多い．そこで本特集号では，流体に関する科学的研究をもとに，自然災害に関わる流体現象とフルードパワーによる防災技術と題し，災害のメカニズムと防災に関する情報を紹介する．

舩木達也氏（産業技術総合研究所）には，風速から見た自然災害について紹介していただく．竹下彰氏（株式会社東京久栄）には，潮位，潮流，波浪などの海洋現象の予測について紹介いただく．豊田政史氏（信州大学）には，2019年台風19号の脅威として，河川や内水の氾濫や今後の防災について説明いただく．飛田哲男氏（関西大学）には，地震による液状化現象とそのメカニズムを紹介いただく．鈴木高二朗氏（港湾空港技術研究所）には，近年の巨大台風が起こした高波・高潮の被害について紹介いただく．

今後も首都直下地震や南海トラフ地震，巨大台風なども懸念されており，過去の災害を教訓に政府・自治体などが災害予測および対策などをご提示いただいているので，各自で確認し，まずは自助，共助での取り組みが必要である．

読者の皆様は，今回の特集記事により，自然の脅威を再確認するとともに各自の防災意識を高めていただけたらと思う．

末筆ながら，ご多忙のなかご寄稿いただいた執筆者の皆様に厚く御礼を申し上げる．本特集号の記事が自然災害に対処するための，フルードパワー技術のヒントとなれば幸いである．

（原稿受付：2020年11月30日）

解説

風速を測ることと風災害への対処

著者紹介

舩木達也（ふなきたつや）
国立研究開発法人産業技術総合研究所
〒305-8563 茨城県つくば市梅園1－1－1 つくば中央第三
E-mail : funaki.t@aist.go.jp

2007年(独)産業技術総合研究所研究員，2013年同所主任研究員となり，現在に至る．気体流量標準の開発・維持・供給および気体変動流の計測制御に関する研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

風はわれわれの生活と非常に密接した関係にある．たとえば，風にまつわる季語を思いめぐらせてみると数多く思い浮かぶし，天気予報では，季節感を共有したい場合に風にまつわる表現がよく用いられる．

つまりわれわれは，風の動きやその強さを季節の移り変わりと紐づけることで，一種の指標とする知恵を養い，また農作業や宗教行事などとも関連付けることで，各種プロセスのランドマーカー的な位置づけとして活用してきたと考えられる．ニュースなどで，「春一番」や「木枯らし」といった風にまつわる用語が季節の変わり目を意識させる指標として，よく耳にすることからも同様にうかがえる．このように，われわれは風を身近に肌で感じ，その動きを見極め，一種の指標と位置付けることで，自分たちの生活の営みに資する情報源のひとつとして活用してきた経験があるといえる．この考え方やとらえ方は，現代でも共通していると著者は考えている．

ところで，危険な暴風や，局所的に発生する竜巻，さらには地球温暖化の影響も受けているのであろう台風の強大化と強力化は，われわれの生活を脅かす存在となってきている．その風速の大きさは，台風の勢力を示す指標として活用されているし，想定される被害の判断基準にも利用されている．さらに，鉄道などの交通機関の運行判断や橋梁の通行制限などの基準としても，風速は活用され，多くの自然災害に対する防災や減災へ資する取り組みが，国内外を問わず進められている．

本稿では，先人の知恵でもあり，感覚的な目安ともいえる指標であった風，すなわち風速に着目しながら，いくつかのトピックを述べていきたい．はじめに，風速（気体の流速）という物理量がどのように「ものさし」として確立し，取り扱われているかについて，日本における国家標準の整備状況などを折りませながら簡単にご紹介する．また，この風速標準というものさし，すなわち風速を測ることが，その後，皆さんの社会生活や活動等へどのように活用，展開されていっているかを，風災害の防災や減災の観点から紐解きご紹介していく．最後に，それらの貢献度や今後の展望についても言及する．

2. 風速の国家標準

2.1 産総研における風速標準

産業技術総合研究所計量標準総合センター（NMIJ）の工学計測標準研究部門気体流量標準研究グループでは，大きく３つの風速範囲に分けて標準供給のサービスを実施している．具体的には，光学トンネルと台車を活用した流速0.05m/sから1.5m/sまでを取り扱う微風速標準と，不確かさが既知である回転円盤とレーザドップラー流速計（LDV）を活用して流速1.3m/sから40m/sまでを取り扱う気体中流速標準が当初より整備され，標準供給を担ってきた．その後，台風や突風による自然災害の甚大さを教訓にする出来事などが重なり，流速40m/s以上での流速値の信頼性を確保したいというニーズが増してきたことから40m/s以上の風速域を対象とした標準も整備することとなった．

経済産業省では，日本の国際競争力の維持や強化，イノベーションの促進などを見据えながら，計量標準などの「知的基盤」を整備し，国民生活や社会経済活動を支援する政策を進めている．計量標準総合センターは，時代や社会的要請などを踏まえながら，新たな物理標準などの整備計画に基づきミッションを遂行しており，現在2013年度から2022年度までの第２期知的基盤整備計画[1)]として計量標準整備に取り組んでいる．特に，計量標準の分野は，新たな

モノづくりやサービスを創出・普及していくための基盤として位置付けられており，整備計画にもその色が反映されている．そのひとつとして前述の流速40m/sから90m/sまでを取り扱う気体大流速の標準整備が計画され，2013年度より着手し2014年度までに整備へといたった．また，翌2015年度には，ユーザーが求める不確かさレベルに対応するために，標準構築のプロセスを改良，見直しを図ることで拡張不確かさの低減にも成功している．

風速に関する国家標準の主要な顧客には，気象庁が挙げられる．この風速の標準供給により，気象用観測機器のひとつである風速計が正しい風速値を示すことを確認するプロセスに貢献している．なお，現時点では道半ばであるが，気象庁でも計量法校正事業者登録制度（JCSS）[2]に基づくJCSS認定事業者としての資格取得を目指していると聞いており，その認定がなされた暁には，気象用観測機器の風速計も計量のトレーサビリティー体系に組み込まれ，国際的な比較検証を経て，信頼性の向上への貢献が期待される．

このことは，地球温暖化をはじめとした世界的な気候変動を取り扱うシミュレーションへも活かされると考えられる．先代の「京」や現在の「富岳」をはじめとしたスーパーコンピュータによるシミュレーションにより，さまざまな予測などが実施[3]できるようになってきたこととも関係が深い．これらシミュレーションの根幹では，世界各所に設置された気象用観測機器を用いた計測データが膨大に活用されている．統一化したルールと計測器を用い気象に関するデータを取得し，整理したデータベースを活用することが，シミュレーションの精度向上などに貢献している．

その結果，闊達な研究の議論や，気象に関するデータベースの構築および整備へも結び付いていると考えられ，信頼性の高い実測値の取得とシミュレーション技術およびその計算能力の向上により，気候変動の予測や把握を実現する新たな技術開発のフェーズが進行中といえる．

2.2　気体大流速標準の紹介

ところで，気体大流速標準は，40m/sから90m/sまでの流速域をカバーする標準のひとつである．被校正器物はピトー管であり，その補正値となるピトー係数の拡張不確かさ（$k=2$）が0.63％にて，国際的にも承認された校正・測定能力（CMC, Calibration and Measurement Capabilities）として国際度量衡局（BIPM）が管理するデータベース（KCDB Appendix-C）に登録[4]され，ホームページ上にも公表されている．

気体大流速標準の確立については，岩井らの論文[5]を参考としていただき，詳細は割愛する．概説すると，計量のトレーサビリティー体系を構築するために，計量標準総合センターで維持供給している気体中流量標準より正確な体積流量値の供給を受け，流速分布による影響を評価の上，図１に示す流量流速変換ノズルを介して流速値へと分解し，部署内の移転標準器である全圧管に正しい値をつけている．この全圧管を用い，別の場所に設置運用しているエッフェル型風洞の大流速校正風洞（図２）へ流速の値を移し，この風洞を用いて顧客より受け入れるピトー管に正しい流速値（ピトー係数）を校正する手順となっている．

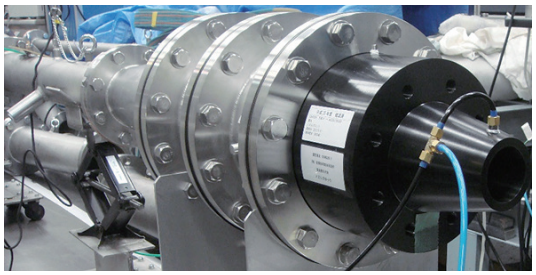


図１　流量流速変換ノズル

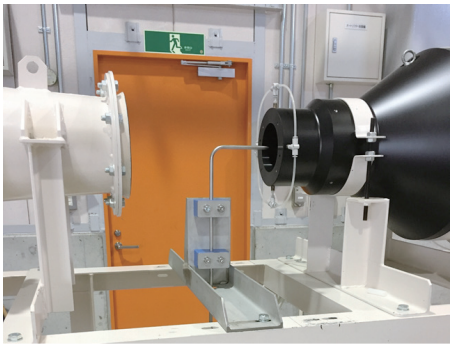


図２　大流速校正風洞におけるピトー管の校正風景

この風速域は，暴風や竜巻など，風にともなう甚大な自然災害が想定される範囲を対象としている．前述もしたが，主要な顧客である気象庁からも早急な整備が期待されていたところであった．なお，気体大流速の最大値が90m/sまでとなった理由は，日本国内で観測されている最大瞬間風速が富士山頂を除くと85.3m/sとの報告[6]があり，おおむね90m/sまでの流速値の信頼性向上を図ることができれば十分であったことが大きい．今後，各地に設置されている風速計で計測した風速値について，順次計量のトレーサビリティー体系へと組み込まれ，観測データの信頼性向上や，災害などへの対策および予報の精度向上に資する技術開発を期待したい．なお，本稿の読者であれば，何故90m/s以上の風速域まで標

準整備を行わなかったのかという疑問を抱くかもしれない．ご存知のとおり，気体である空気には圧縮性があり，その影響が相対的に無視できなくなることを整備段階で把握済みである．将来，90m/s以上の風速範囲をカバーする風速標準を整備する際は，この圧縮性にともなう計測の不確かさへの影響を考慮しなくてはならない．

3. 風にまつわる自然災害など

3.1 台　　風

最も身近で風にまつわる自然災害として思いつくのは，台風ではないだろうか．著者も台風接近や通過時などの風の強さには驚きと恐怖を感じていたものである．台風による災害は，主として風と雨の相乗効果による暴風雨が想定されるが，本稿では特に風由来の暴風にともなう被害のみに着目したい．

一言で「強い風」といっても，どのような影響があるのか，明瞭に理解するのは専門家以外にはなかなか難しい．一般に，風から受ける荷重を計算するならば，風速の２乗に比例することがわかる．身の回りで風にともなう被害が懸念される事例としては，窓ガラスの破損などが挙げられる．この場合の指針として，国は建設省告示第1458号（平成12年（2000年）５月21日）で，「屋根ふき材及び屋外に面した帳壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準」を定める件として，建築基準法施行令第82条の５の規定にもとづいた風圧による構造物の安全性にかかる構造計算の基準を提示している．論点を整理すると，家屋の窓ガラスには，これら計算にもとづく設計風圧力が生じても破損しない十分な強度を確保し製造されたガラスを建築物へ用いることが建築者に求められている．さらに，これまでの台風通過にともなう地域ごとの観測された風速値の経験にもとづき，地域ごとに30m/sから46m/sまでの範囲での基準風速が示され，台風が良く通過する鹿児島県や沖縄県，高知県などの基準風速が高めに設定されるなど，結果として設計風圧力の計算値が地域により異なる点も興味深い．

ただ，前述の想定は一定風圧として作用した場合の構造物の安全性を担保する基準である．このため，暴風により破損した瓦など，飛来物が衝突する場合には当該設計基準は役に立たない．また，家屋などの構造物のひとつである窓ガラスや壁などが破損した場合，建築物全体へのダメージも非常に大きい．このことは，その破損部分を基点として家屋の屋根が吹き飛ぶなど，さらなる建築物への甚大な被害を誘発する懸念にも表れている．

以上より，構造物の安全性は風速計による風速値の把握とその被害状況を踏まえた先人たちの経験にもとづき，社会生活を安全に営めるよう，適切な指針をもって対処できていると考えられるが，必ずしも万能ではないことに留意しなくてはならない．

3.2 竜巻や突風等

竜巻の被害例としては，2012年５月６日に茨城県つくば市北条地区を襲った竜巻を挙げておきたい．当時は多くのメディアで巨大な竜巻が移動していく映像や，その被害の生々しさが紹介され，心を痛めた方々も多かったのではないだろうか．海外では，これとは比較にならない巨大なトルネードが町全体を破壊する事例なども散見され，改めて自然の猛威とその災害の大きさを感じずにはいられない．

また，積雲や積乱雲が弱まる段階において降水粒子が周囲の空気を巻き込みながら下降する気流を生じ，これが地上に衝突して四方に拡散する際に極端に強い風をともなうものをダウンバーストと呼び，突風被害の事例として全国各地で確認されている．

その他に，高層建築物にともなう通称「ビル風」と呼ばれる事案も，建物の設計や配置など人的要因によるリスク増大の例としてとらえることができる．都心部などの密集地域では致し方ないのかもしれないが，高層建築物間の狭い空間に集中して通過する風が，人的被害をともなう凶器となることに留意しなくてはならない．このように，日本全国どこでも，竜巻や突風などの被害を受ける可能性があり，その対策は重要である．

4. 防災・減災にむけて

第３章までの議論を踏まえ，われわれが風災害に対処するための防災や減災に資する取り組みとは何かを本章で検討してみたい．

4.1 防災にむけて

防災とは，その字のごとく，災害を未然に防ぐ，すなわち被害を出さないことをめざしている．風にともなう災害を未然に防ぐために，獲得できる正しい風速値をいかにうまく活用できるか，活用していくかということに尽きるのではないだろうか．

点計測である風速計をエリアに適切に事前配置し，それらの情報を融合すれば，面情報や空間情報となる風速場をとらえることができる．このような風速場の把握は，国土交通省の鉄道強風対策協議会が2006年９月に取りまとめた風観測の手引き[7]においても，風監視の考え方や風速計の設置方法の指針として示されている．

ここで，防災の取り組みとして鉄道における強風対策にともなう運行規制を取り上げてみたい．台風などが接近および通過する場合，その影響が及ぶ沿

線地域では強風や突風が生じる．事前に沿線地域に設置した風速計の情報などにもとづき，風の影響を把握し，当該区間の鉄道運行について，減速運転や運行停止の判断がなされる．強風時では，主として風速計で観測した風速値にもとづき，運転規制の基準値を超過する場合に，減速運転や運行停止がなされる．一方，突風時においては，おおむね空間的に限られた領域で生じることが想定されるため，必ずしも風速計のデータのみでは計測しきれない可能性があり，判断材料として不十分となることから，風速計のみに頼らずドップラーレーダーなどの気象レーダーも活用して運転規制の判断[8)–10)]も行っている．一般に，運転規制の判断基準はおおむね風速20m/s以上となると警戒態勢となり，風速25m/s以上で速度規制，風速30m/s以上で運転中止と判断されている．また，近年，実際の計測結果である風速値にもとづかず台風が通過する地域などに対して，事前に強風の影響を想定した鉄道の計画運休がアナウンスされる防災対策も取られるようになった．計画運休の是非についてはいろいろと議論があることは承知しているが，防災の観点からは有効な手段であると著者は考えている．

4.2　減災にむけて

減災とは，防災と異なり完全に災害を発生させないのではなく，ある程度の被害は受け入れながらも，その規模などが最小限で収まるように低減するための取り組みと考えられる．よって，減災に対しては，特に災害が始まる瞬間から，進行している最中において，どのような対処を施し，被害を低減できるかが重要となる．

この場合，やはり時々刻々と被害の進行状況が変化する中で，被害発生要因と想定される風の状況を適宜，正確に把握し，その動向からさらなる被害が生じないように対策を施すことが第一義だと考えられる．すなわち正しい情報を入手し，関連情報と合わせて，減災に資する取り組みや対策が何かということを，その時々で適切に判断，実行できることが求められる．たとえば，防災マップ（ハザードマップ）の活用は，事前に危険エリアの情報を正しく入手しておくことにつながり，自らの判断や行動を決する際に，それらの情報や気象観測情報などとあわせて検討できれば，より大きな減災効果が得られるかもしれない．

また，前述の鉄道運行の事例は，防災の観点とあわせて減災の観点も含まれる．たとえば，減速運転を判断する場合は，社会活動において重要な交通インフラを確保しつつ，その一方で乗客や鉄道設備の安全性も確保できている点で，万が一の災害発生時にも機動的に対応でき，結果として，社会インフラを維持しながら優れた減災の運用方法のひとつととらえることも可能といえる．少し情報は古いが，内閣府の防災情報のホームページでは「減災のてびき」などが公開[11)]されているので，風速を測ることとあわせて事前の確認をしておきたい．

5. 国際的な取り組み

世界気象機関（WMO）は国際連合の専門機関のひとつで，気象事業の国際的な標準化や改善，調整等を主たるミッションとしている．日本も1953年の加盟以来，アジア地区における気象情報サービスに関する中心的な役割を果たしてきている．具体的な事例として，気象庁はアジア地区を担当する地区測器センターとなっており，各国の観測データの品質が保たれるよう，基準となる観測用気象測器の管理や，気象測器の比較校正の支援および保守などの指導を実践している．これらの活動により，各国の観測技術の向上や品質のよい観測データをエリア内で統一して確保する手段が確保でき，これらデータを活用した天気予報などの精度向上に資する取り組みが推進されている．

一方，気象観測用風速計[12)]に関しては，世界気象機関の測器観測法委員会（CIMO）による勧告に準拠する形で，おおむね３杯型風速計や風車型風向風速計などが活用されている．また参考文献に示される技術指針[13)]において，地上気象観測においては，「風速計を地上から10 mの高さで設置すること」が望ましいとし，さらに風速計からの出力も0.25秒ごとに出力される風速値をもとに10分間の平均値をもって平均風速とすることが定められている．瞬間風速については，0.25秒ごとの風速値出力を12個平均処理して得られる３秒平均値にもとづき運用がなされている．このような世界共通のルールは，使用する風速計の仕様と運用方針において，設置場所を問わず定めることができ，測定にともなう普遍性と妥当性を担保する重要な手順となっている．

国内では気象庁が主導的な役割を担い，その指針に準拠する形で風速計を設置，活用しており，気象観測に資する情報の品質向上に結び付けている．また，気象観測から得られたデータなどを活用することで，将来的な気候変動による自然災害の予測や，防災や減災への世界的な取り組みに対して，日本が主導的に貢献していっていることは何とも心強い．将来，日本での計量トレーサビリティー体系に気象用観測機器が組み込まれれば，さらなる信頼性向上と世界での気候変動観測網の革新が期待される．

6. 終わりに

本稿では，はじめに，風災害における防災，減災に資する論点で重要な「風速」という物理量に着目し，国内の風速標準の整備状況やその貢献について概説した．

つぎに，防災や減災に資する取り組みの紹介では，正しい風速値の情報入手が重要であること，これを用いた判断基準などのルール化に反映させることで，より適切な判断の実践が可能であることをいくつかの事例により示した．

また，世界気象機関が示す技術的指針にもとづき，風速計の取り扱いやデータ処理方法が統一的に示されていることを紹介し，世界共通で気象観測データの信頼性の向上が進んでいることも紹介した．

以上より，計量のトレーサビリティーが確保できた適切な風速計を用い，統一した設置条件や運用方法を満足すれば，正しい風速値の確保を基点に，防災や減災に資する指針や取り組みの整備と運用方法の構築，さらには自然災害のメカニズムの解明や，自然環境の変動予測，気象予報の精度改善など，数多くの貢献が期待される．さらに，風速を場として把握できる技術開発も同時並行的に進んでいけば，われわれの社会活動により大きな自由度をもたらす取り組みへと結びつくに違いない．

7. 謝　　辞

本稿執筆に際し，国立研究開発法人産業技術総合研究所 計量標準総合センター 工学計測標準研究部門 気体流量標準研究グループの岩井彩研究員より，気体大流速標準に関する資料などの提供を受けた．未筆ながら，その協力に感謝する．

参考文献

1）たとえば，経済産業省ホームページ，第2期知的基盤整備計画：https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun/techno_infra/index.html
2）たとえば，計量法校正事業者登録制度（JCSS）：https://www.nite.go.jp/iajapan/jcss/index.html
3）たとえば，観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化：http://www.jamstec.go.jp/pi4/ja/index.html
4）BIPMによるKCDB：https://www.bipm.org/kcdb/
5）岩井彩他：標準流量を参照値とした気体大流速国家計量標準の確立，日本機械学会論文集，Vol. 83，No. 847，16-00240（2017）
6）気象庁：過去の気象データ検索，最大瞬間風速，https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/
7）鉄道強風対策協議会：風観測の手引き，（2006）https://www.mit.go.jp/kisha/kisha06/08/080912/02.pdf
8）鈴木博人：鉄道における雨，風，雪対策，日本気象学会2020年度第54回夏季大学，（2020）
9）鈴木実他：鉄道における強風時の運転規制方法と強風対策，日本風工学会年次研究発表会，S5-7（2004）
10）島村誠：自然災害に対する列車運行安全基準の成立と改良，土木学会，安全問題研究論文集，Vol. 4，p. 1-9（2009）
11）たとえば，内閣府（防災担当）：減災のてびき，http://www.bosai.go.jp/kyoiku/keigen/gensai/tebiki.html
12）石原正仁：気象庁の風観測，日本風工学会誌，第34巻第3号，p. 322-328（2009）
13）World Meteorological Organization（WMO）：Technical Regulations, Volume II – Meteorological Service for International Air Navigation，p. 74-76（2020）

（原稿受付：2020年12月22日）

解説

海象現象の予測

著者紹介

竹下（たけした）　彰（あきら）

㈱東京久栄経営企画本部新領域推進室
〒333-0866 埼玉県川口市芝6906－10
E-mail : takeshita@tc.kyuei.co.jp

1982年鹿児島大学大学院工学研究科海洋土木開発工学専攻修士課程修了．同年㈱東京久栄入社，環境部長，技術本部副本部長を経て，2017年に経営企画本部新領域推進室長，現在に至る．温排水拡散予測，海浜変形予測，環境アセスメント業務に従事，技術士（建設部門）．

1. はじめに

四方を海に囲まれた我が国の海岸や港湾周辺の沿岸域は，防波堤や離岸堤，港湾施設などの整備にともなう各種の土木工事が頻繁に実施されており，また海上物流や漁業・遊漁業，海洋レジャーの拠点として人間活動が活発な領域である．

したがって，沿岸域ではこれらの活動を効率よく安全・確実に計画・実施するため，海面の高さ（潮位）や流れの大きさ・向き（流速・流向），波の高さ・向き（波高・波向）のような自然現象の予測は非常に重要である．

予測技術の高度化やコンピュータの高性能化は予測精度（予測の正確さ）と分解能（時間的・空間的なきめ細かさ）を著しく向上させ，インターネットの発達やモバイル端末（PCやスマートフォン）の普及によって，以前は一部の専門家や関係者しか知りえなかった海洋の波や流れの状況が広く一般に公表され，利用できるようになった．

2. 海象現象の予測

2.1　海象とは

海象とは海の自然現象の総称であるが，その自然現象としては，潮汐（潮位）・潮流，海流，波浪，津波・高潮などがあげられる．

ここでは，利用頻度の多い潮汐（潮位）・潮流と波浪の予測の概要について記載しようと思う．

2.2　予測と予報

予測の概要を説明する前に，予測と同じような意味合いで使われる予報との違いを示しておく．どちらも将来の未知の出来事を推し量る行為で，将来起こりそうなある出来事について，前もって推量する行為をいう．予測の「予」は「あらかじめ」，「測」は「状態を測る」ということを意味する．

一方，予報は，気象分野では「天気予報」のようによく使われるが，「予測」された結果を広く一般にわかりやすく知らせる（「報」告）意味で使い分けされている．

2.3　潮汐（潮位）・潮流の予測

2.3.1　潮汐とは

海水面の水位（潮位）が毎日ほぼ２回ずつ昇降し，周期的に満潮と干潮を繰り返す現象をいう．潮汐の外力は，月や太陽の引力と地球と共通の重心の周りを回転することで生じる遠心力を合わせたもので起潮力といい，これによって生じる海水の流れが潮流と呼ばれる．潮流の大きさ（速さ）を流速，流れの向き（流れ去る方向）を流向という．詳細については，気象庁や海上保安庁海洋情報部のHPを参照されたい．

2.3.2　潮位予測

潮位観測を実施している検潮所は日本全国で180地点（海上保安庁30地点，気象庁81地点，港湾局69地点）あり，観測開始は場所によって異なるものの日本各地で長期間にわたって観測が継続実施されている．

詳しい説明は省くが，各検潮所毎に潮位予測に必要な調和定数が計算されており，海上保安庁水路部より「日本沿岸潮汐調和定数表」として販売もされている．他にも気象庁のHP[1)]や海上保安庁海洋情報部のHP[2)]では各検潮所の任意の潮位予報値・予報図を誰でも簡単に作成できるようになっている．

2.3.3　潮流予測

前述したように潮流は潮汐が外力（起潮力）となって生じる流れであり，前述したように潮位観測データから調和分解によって潮汐調和定数が求められるのと同様に，潮流の観測データを調和分解して

潮流調和定数が算定され，この潮流調和定数を用いて潮流を予測することができる．

海上保安庁海洋情報部HP[2]では，東京湾・伊勢湾・瀬戸内海等の代表的な海域について数値シミュレーションで潮流が再現されて2100年までの任意の日時の潮流を表示することができる．

これらの潮流予測結果は日本水路協会の海図ネットショップ[3]で有料販売もされている．

2.3.4　潮流予測の事例

潮流調和定数がわかっていれば，三角関数の合成で潮流を計算することができるが，ここでは数値シミュレーションについて簡単に触れることとする．

潮流を含む海域の流れは，連続方程式とナビエ・ストークスの運動方程式で表される．これらの連立方程式系はわれわれが中高生の頃に習った未知数（水位と流速２成分の計３つ）と式の数（連続方程式と流速２成分の運動方程式の計３つ）が同じであるが偏微分方程式のため，そのまま一般解を求めることができない．そこで偏微分方程式の離散化を行い，適当な初期値と境界条件を与えて，計算領域内の潮位や流速を順次計算する．

離散化の方法はいくつか提案されており，同じ境界条件を与えても同一の結果になるとは限らない．そこで，できるだけ同一の条件で数種の予測モデルの予測値を水理模型実験値と比較した事例[4]は珍しいと思われるので紹介する．

比較した数値モデルの概要を表１に，水位の時間変化の比較は実験値と合わせてDelft 3D（σモデル）とTKM（レベルモデル）の結果を図１に示す．

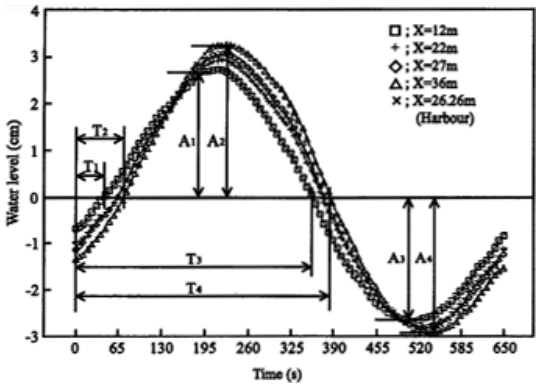
水位の予測値の振幅や位相に多少のずれはあるが，どの予測モデルを用いても表１に示す渦動粘性係数や底面粗度をチューニングすれば実験値におおむね適合させることはできた．

表１　比較した数値モデルの概要[4]

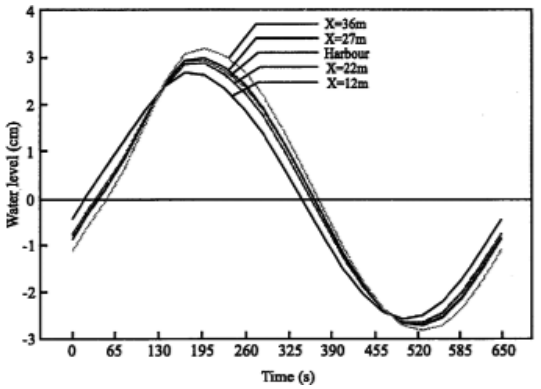
モデル名	Delft 3D-FLOW	POM	TKM	ODEM
開発者	Delft水理研究所	Princeton大学	㈱東京久栄	大阪大学
水平格子	可変格子 （0.12-1m）	可変格子 （0.12-1m）	ネスティッド格子 （0.125-1m）	正方形格子 （0.2m）
鉛直格子	σ10層（一様）	σ５層（一様）	レベル３層 （10，８，７㎝）	レベル３層 （10，８，７㎝）
時間積分法	Special ADI	Mode Splitting	Euler	Leap flog
時間間隔（s）	0.12	内部モード：0.02 外部モード：0.004	0.005	0.025
移流項差分	2次風上＋中心	中心	一次風上	一次風上
鉛直渦動粘性係数	k-ε Model	1×10^{-2}（㎡/s）	1×10^{-4}（㎡/s）	1×10^{-2}（㎡/s）
水平渦動粘性係数	0.01㎡/s一定	0.01㎡/s一定	区間１：0.001（㎡/s） 区間２：0.002（㎡/s） 区間３：0.004（㎡/s） 区間４：0.008（㎡/s）	0.01㎡/s一定
底面粗度	粗面：27.5（$m^{1/2}$/s） 滑面：70.0（$m^{1/2}$/s）	粗面：25.0（$m^{1/2}$/s） 滑面：70.0（$m^{1/2}$/s）	粗面：25.0（$m^{1/2}$/s） 滑面：70.0（$m^{1/2}$/s）	粗面：25.0（$m^{1/2}$/s） 滑面：70.0（$m^{1/2}$/s）
側壁	スリップ	スリップ	スリップ	スリップ
計算潮汐数	5	4	3	4

ただし，振幅や位相に多少のずれが鉛直座標系（σモデルかレベルモデル）の違いか，他のパラメータによるものかは不明であった．

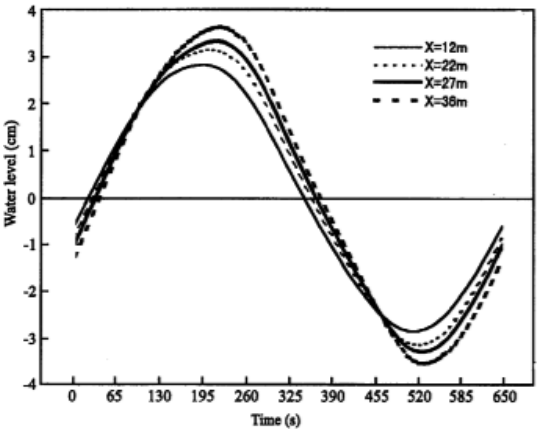
現実的には，予測に用いる数値モデルごとに予測値が実測値（通常なら観測値，この場合は水理模型実験値）にもっとも適合するようにチューニングすることになる．潮流の場合であれば，潮流楕円の大きさや長軸の向き，実測値が複数地点あれば，全体の流れパターンなどで予測結果の適合性（流れの再現性）を確認するのが一般的である．



(a)　実験値



(b)　Delft 3Dによる計算結果



(c)　TKMによる結果

図１　水位の時間変化の比較[4]

2.4　波浪の予測

2.4.1　波浪とは

海上で吹いている風によって生じる波は風浪と呼ばれている．風浪は発達過程の波に多く見られ，発達した波ほど波高が大きく，周期と波長も長くなる．一方，風浪が風の吹かない領域まで進んだり，風による発達がなくなったのちに残される波をうねりと呼んでいる．うねりは風浪よりも波長や周期が長いために水深の浅い海岸（防波堤，磯，浜辺など）付近では海底の影響を受けて波が高くなりやすいという性質を持っている．一般的に，この風浪とうねりをまとめて波浪と呼び，津波や高潮とは区別する．

波浪は，波高（海面にあらわれる波の山と谷の高さの差），波長（波の山と山，あるいは，谷と谷の長さ），周期（波の山が通過して次の波の山までの時間），波向（波の進行方向，波が来る方向）で表現される．

2.4.2　波浪予測

波浪の変化を予測するための数値シミュレーションモデルは数値波浪モデルと呼ばれる．数値波浪モデルは，天気予報に用いる数値気象予報モデル（同様に気象の変化を予測計算するプログラム）により算出された海上風の予測値を用いて，波浪を予測している．

気象庁の数値波浪モデルは，計算対象の海面を東西と南北一定の間隔で格子状に区切り，そのひとつひとつについて波の計算を行っている．地球全体と日本周辺をそれぞれ計算対象領域とした２種類の数値波浪モデルを運用し，モデルの格子間隔は，それぞれ緯・経度単位で，0.5度と0.05度（日本付近ではそれぞれ約50km，5kmに相当）になっている．

2.4.3　波浪予測の事例

ここでは，波浪予測の事例を２つ紹介する．最初の事例は，エネルギー平衡方程式モデルによる波浪変形計算から神奈川県三浦ヶ崎，香川県高見島，岡山県千軒湾の３ヶ所のモデル海域の波高分布を予測し，底層流速やシールズ数の分布とそこのアマモの生育状況（群落形成，パッチ状分布，分布せず）を比較することでアマモ生育の適合度を検討[5]した．

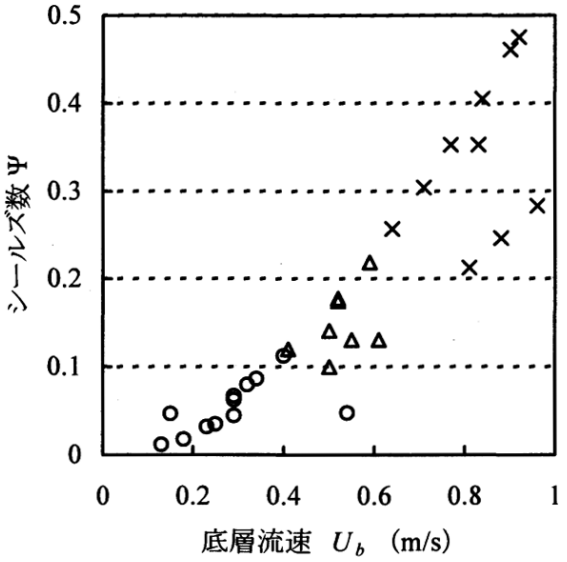


図３　モデル海域のアマモ場上限水深付近の底層流速，シールズ数と生育状況（○：群生形成，△：パッチ状分布，×：分布せず）[5]

神奈川県三浦ヶ崎の波高分布の予測結果を図２，その他の２海域の波高分布の予測結果もあわせて全評価地点のアマモの生育状況を底層流速とシールズ数で表示したものを図３に示す．

この検討により，アマモが生育する海域のシールズ数や底層流速の上限値が設定され，アマモ生育の適地評価の重要な物理指標を示すことができた．

もう一つは，直接沖合に波浪計が設置できない場合に少し離れた港湾沖合の波浪観測情報を用いて当該港湾の波浪予測を行った[6]ものである．

こちらは，前述のエネルギー平衡方程式モデルのように数値シミュレーションを用いた予測ではなく，長期間の波浪実測データを用いて，波高・周期・波

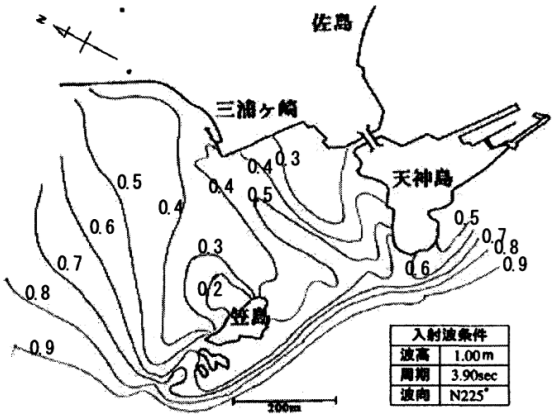


図２　波高分布の予測結果（三浦ヶ崎）単位：m[5]

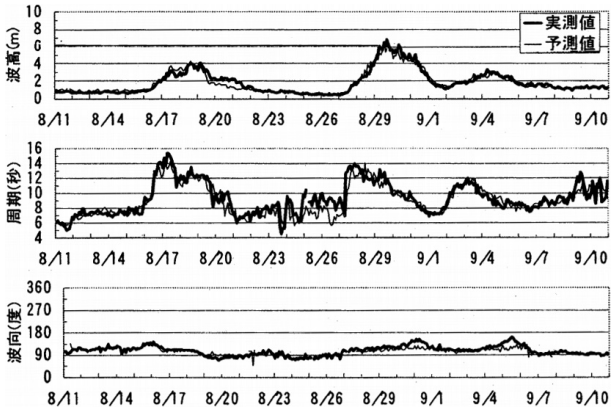


図４　波高・周期・波向の実測値と予測値の比較[6]

向の出現状況を月別・季節別に整理し，波向別・周期帯別に相関解析を実施したものである．

相関解析で得られた波高・周期・波向の予測値と実測値を比較した結果を図４に示す．

波向の予測精度にやや不安定な所が見られたが，これは波高が小さい場合に限られ，実務上大きな問題となるものではないことがわかった．

3. 海象予測の利用事例

当社も参画する東京大学生産技術研究所の共同研究グループ（林研究室＋民間企業14社）では，2017 ～ 2019年度の環境省の公募事業（CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業）に採択され，平塚新港防波堤前面で新型波力発電装置の実証実験を実施中である．新型波力発電装置は，香川県多度津市にある共同研究メンバーであるK社の四国工場で組み立てられ，2020年２月１日～４日に2,000t台船に固縛して多度津を出港し，紀伊水道を南下，沿岸に沿って北上し，実証海域である平塚新港に海上輸送された（図５）．その後，400t級クレーン船で先行して打設した支持杭４本の上に被せるように据付けた（写真１）．

海上輸送時はもちろんのこと，波力発電装置の据付時は現地の波浪や風が大きく海上作業に影響するため数日前から波浪や風の予報値をチェックしながら慎重に施工が実施された．

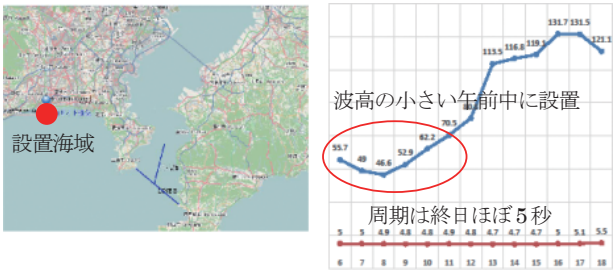


図５　海上作業中の波高と周期（平塚観測タワー）

写真１　新型波力発電装置の設置状況

また，設置後の実証実験中には，発電所の定期点検や各種データを収集するための集中観測以外に，緊急メンテナンスを実施することがある．特に，船舶やダイバーの海上作業が必要な場合には，波や風の情報が重要となり，毎週末に翌週１週間分の予報値（図６，７）を確認し，関係者で十分協議して実施日を決定することとしている．

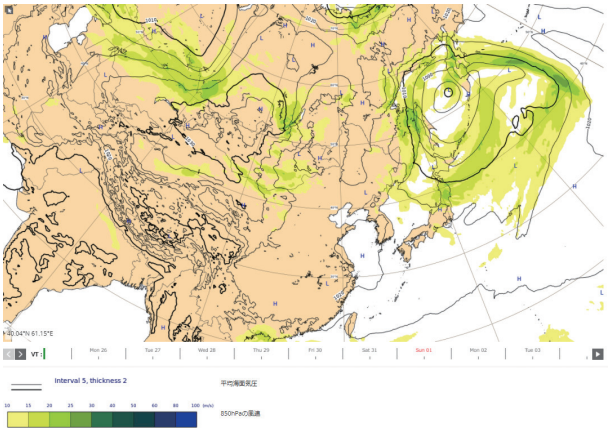


図６　ECMWF[7]の平均海面気圧と風速

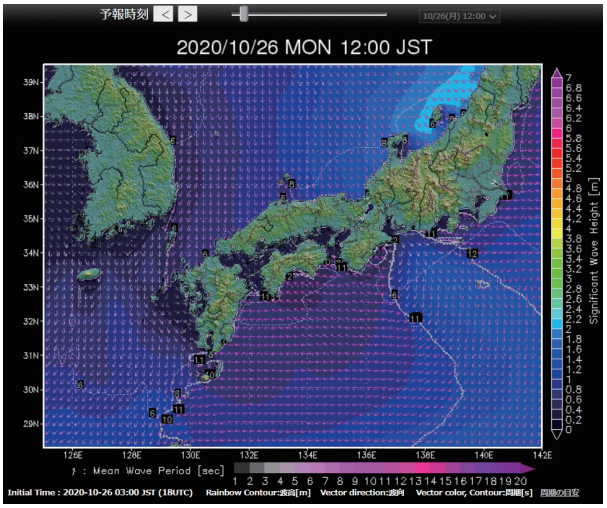


図７　GPV[8]波浪予報

また，作業の種類によっては，これらに加えて潮位予報値も参考にしている．

集中観測やメンテナンスの実施には，全国各地から技術者が出張してくるし，重機や特殊作業機材を借りるにも費用はかかるので，当日の海象条件が悪くて作業中止となると困る．

コストも含めて作業を効率よく実施するためにも海象予報の利活用は重要なのである．

4. おわりに

半世紀近く前，筆者が学生のころの話になるが，海

洋観測のための外洋航海調査に参加したことがある．

当時は調査船に毎日，天気図（気圧配置図）がFAXで送信されてきた．また，大学の授業でもラジオ放送を聞きながら自分で天気図を作成できるように練習していたように記憶している．大学を卒業して，海洋調査を生業とする今の会社に入社してもしばらくの間はそうした状況に大きな変化はなかったと記憶している．では，いつごろから今のように変化していったのか，はっきりとしない．

海象現象の予測は今でも少しずつ進化しているものの以前とは違って，一般市民にとっても身近なものになってきた．予測すること自体よりも予測された結果をどう見せるか，どう活用してもらうかに重要なポイントが移ってきているように思える．そこにモバイル端末や高速インターネットが普及したことでかつては一部の専門家や関係者が独占していた海洋の波や流れの情報が釣りや潮干狩り，海水浴やサーフィンなど，広く一般市民も活用できるようになった．まさに隔世の感がある．

参考文献

1）https://www.jma.go.jp/jp/choi/
2）https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/tide_pred/index.htm
3）https://www.jha.or.jp/jp/shop/products/mesh/index.html
4）田中昌宏，石塚正秀，竹下彰，水鳥雅文，中辻啓二：沿岸海域流動モデルの計算精度と問題点の把握，海岸工学論文集第46巻，p. 456-460（1999）
5）森田健二，竹下彰：アマモ場分布限界水深の予測評価手，土木学会論文集No. 741/Ⅶ-28, p. 39-48（2003）
6）永井紀彦，里見茂，小澤康彦，吉田秀樹，竹下彰，額田恭史：スペクトル波浪相関に基づく宮崎港波浪予測情報システムの構築，海洋開発論文集第21巻，p. 809-814（2005）
7）http://weather-gpv.info/
8）https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/catalogue/medium-mslp-wind850?facets=Range,Medium%20(15%20days)&time=2020062200,0,2020062200&projection=classical_eastern_asia

（原稿受付：2020年10月30日）

解説

令和元年東日本台風にともなう千曲川水害について

著者紹介

豊田政史（とよだまさし）

信州大学

〒380-8553 長野市若里4－17－1

E-mail : mtoyo@shinshu-u.ac.jp

1997年京都大学大学院工学研究科修士課程修了．1997年運輸省港湾技術研究所研究官，2000年信州大学助手，同大学助教を経て，2017年同大学工学部准教授，現在に至る．湖沼・河川における水の動きに関する研究に従事．土木学会，日本水環境学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

令和元年東日本台風（2019年台風19号）の接近にともない，2019年10月10日から13日にかけて東日本を中心に大雨となった．この大雨は，日本全国に大きな被害をもたらし，死者104名，全壊家屋3,308棟であった[1]．千曲川流域では12日20時35分から13日３時25分にかけて氾濫発生情報（警戒レベル５相当）が８回発表され[2]，長野市穂保地先で千曲川本川堤防が決壊したほか，飯山市皿川や佐久市滑津川などの支川でも堤防決壊が発生するなど，東北信地域に甚大な被害をもたらした．

本稿では，この未曽有の大水害に関して，水工学的な視点から被災状況を概観し，この水害の概要を述べる．そして，そこから得られた教訓をもとに，行政により現在行われている治水対策の紹介を行う．

2. 千曲川の地形と被災の概要

図１に千曲川の概要を示す．千曲川は，日本最長の河川である信濃川の水系に属している．長野・群馬・山梨県境の甲武信ヶ岳を源とし，長野市内で犀川と合流したのち，新潟県に入るまでの214㎞区間となっている．図２は千曲川の縦断勾配である．上田市と長野市の間で大きく変化（1/200から1/1,000 ～ 1/1,500へ）している．今次洪水での被災形態は，この勾配変化点の上下流で異なっている．勾配変化点より下流では洪水流の越流による「川裏法崩れ」が，上流では，洪水流の侵食による「護岸欠損」が多くみられた[4]．それらの中で特に被害が甚大だったものは，長野市穂保地先における堤防決壊，上田電鉄別所線の鉄橋が落下した上田市諏訪形地先における堤防欠損である．

図１　千曲川の概要（国土交通省HP[3]より）

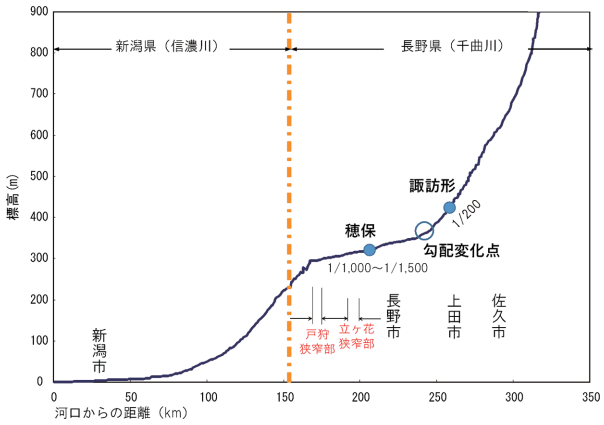


図２　千曲川の縦断勾配（国土交通省提供資料に加筆修正）

3. 降雨および水位

10月12日を中心として，特に千曲川上流部右岸側での降雨が激しく，多くの観測点で既往最大雨量を上回った．10月11日～13日の流域最大雨量は，佐久穂町上石堂での579㎜（11日：25㎜，12日：553㎜，13日：１㎜）であった．本川堤防決壊地点の約５㎞下流にある立ヶ花水位・流量観測所の最高水位は，1950（昭和25）年の観測開始以降で最大であった1983（昭和58）年洪水時の11.13m（参考：堤防の設計時の基準水位である計画高水位は10.75m）を大きく上回る12.44mを記録した[5]．

今次洪水（令和元年）における立ヶ花観測所での水位時間変化を図３に示す．この図には，過去に大水害をもたらした昭和57年，58年水害時の水位変化をあわせて示してある．この図をみると，今次洪水（R１）では，過去の水害時（S57，S58）よりも，水位上昇の速さが大きいことがわかる．

4. 破堤氾濫域（長野市穂保地先）[6]

長野市穂保地先の堤防が越流により決壊し，氾濫が発生した（写真１，写真２）．破堤幅は約70mであった．ここに設置されていた危機管理型水位計の記録を図４に示す[4]．13日０：30頃に堤防天端高338.2mに達し，２：40にピーク水位339.0mとなっている．つまり，越流水深が最大で80㎝となっていることを示しており，既往の破堤事例における越流水深の「平均30㎝程度，多くは60㎝以内[7]」よりも大きく，越流に対して他の破堤事例よりも堤防が長くもちこたえたと考えられる．

二瓶による浸水深調査結果では，決壊箇所から２㎞程度北西方向へ離れた場所において，浸水深が４～５m程度で最大であった．この場所は，浸水域の中で標高が特に低い地域となっており，氾濫水が時間とともに低い場所に集まった結果である．堤防決壊による氾濫により，約９㎢の範囲が浸水し，決壊箇所から約300mの範囲内で住宅の流失がみられた．

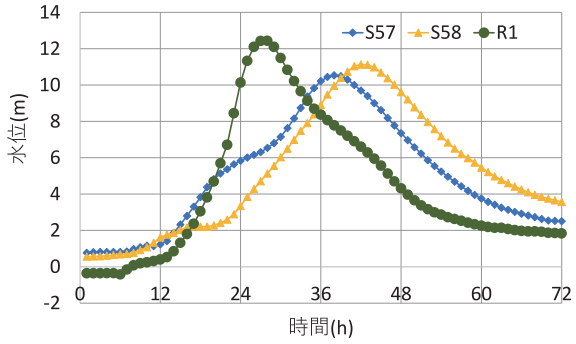


図３　水位時間変化の比較（立ヶ花）

写真１　堤防決壊箇所付近の様子（2019年10月13日，東京理科大学二瓶泰雄撮影）

写真２　堤防決壊箇所そばの体育館（写真１中に丸で囲んだ場所）（2020年１月14日，著者撮影）

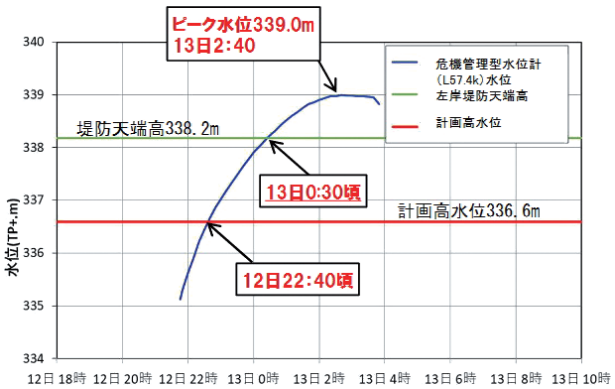


図４　堤防決壊箇所付近の水位時間変化[4]

浸水範囲内には，長野新幹線車両センター，千曲川流域下水処理場が存在し，これらの施設の浸水被害は長期にわたり，住民生活に大きな影響を与えた．

5. 洪水による流路変動（上田市諏訪形地先）

今次洪水により，千曲川では大規模な河床変動・流路変動が生じた．特に，上流の急勾配区間では河岸侵食，下流部の緩勾配区間の高水敷では土砂堆積

が多くみられた．

上田電鉄別所線の鉄橋が落下した上田市諏訪形地先における堤防欠損箇所の被災前（2018年）の航空写真と被災後の写真を写真３に示す．上（被災前）の写真をみると，堤防欠損にともなって落橋した地点には砂州が存在し，樹木が繁茂している．つまり，この場所は平水時には水が流れていない場所であったが，今次洪水で流路の位置が大きく変わり，下（被災後）の写真のような被災を受けたといえる．

今次洪水は，ひとたび大規模出水が発生すれば，急流河川特有の激しい侵食力により川全体で砂州や流路が大きく変動するということを示した．この被災の主要因は，ピーク流量を過ぎた流量減衰時に流路変動が大きく進行した[6]ことと推定されており，河道内砂州を有する急流河川の河道管理において，大規模洪水時の砂州挙動と流路変動の予測技術を高めていくことが望まれる．

6. 千曲川支川における内水氾濫

洪水時において，大河川の水位がある一定以上になると，大河川へ流入する支川の水門を閉鎖するのが一般的である．今次洪水において，千曲川水位の上昇にともなう支川の水門閉鎖にともなう内水氾濫が多発した（写真４）．氾濫域においては，家屋被害に加えて，排水設備の電気系統に関する被害も報告されている．排水設備の電気系統を１階に配置しないことや排水機場への防水扉の設置など，今後の排水設備設計時の水害対策が望まれる．実際に，被害を受けた沿川市町村で現在策定中の復興計画[8]にも「排水機場の耐水化」や「民間企業等と連携し，AIなどを活用した水門等の自動管理システムの導入を目指した研究の実施」などが謳われている．

7. 千曲川上流支川の氾濫

降雨が激しかった千曲川上流支川では，写真５のように，河川に家屋や道路が近接していて，生活用の橋梁が川を横断しているような形態の場所における被災が多くみられた．被災住民の話によると，洪水時には，河川から水があふれることにより，道路との区別がないような状況で，水が住宅に押し寄せてきたとのことである．

河川改良復旧工事にあたっては，拡幅の難しい場所が多く，新聞報道によると，河川拡幅にともなって住宅移転を余儀なくされるケースが発生しているようである[9]．多数の被災があったため，被災から１年経過した現在でも，千曲川本川とは異なり，護岸や橋梁などの復旧が終わっていない場所が数多くみられる．

写真３　諏訪形地先の堤防欠損箇所
（上：2018年航空写真，国土交通省提供，
下：2019年10月15日，著者撮影）

写真４　内水氾濫被害の一例（長野市内，2019年10月13日12：00ごろ，信州大学大学院（当時）永田翔撮影）

写真５　千曲川上流部支川氾濫被害の一例（佐久市内，2019年12月７日，著者撮影）

8．水害時の住民避難行動[10)]

破堤氾濫により全域が浸水した長野市長沼地区は，内閣府の地区防災計画モデル地区に指定されるほど模範的な地区防災計画を持ち，その計画は住民の適切な避難行動に寄与したと考えられる．しかし，関西テレビ放送による住民アンケート調査によると，越水開始時の13日０：30頃の避難率は50％以下にとどまっている．被災後，地元住民は「千曲川堤防の越水は覚悟していたが，堤防決壊はあり得ないと認識していた」と発言している．「堤防決壊はあり得ない」という誤った認識の修正は依然として大きな課題である．

一方，上流の支川谷川が氾濫した佐久市入沢地区は，12日11：00に地区独自の避難指示を出し，日没前に地区ほぼ全員の避難を完了させている．この早期立ち退き避難は，区長自ら気象庁・米国・欧州の台風進路予測情報を収集し，11日夕刻に役員会を招集し，12日の避難を決意したため実現した．市からの防災情報に頼ることなく率先した避難行動をとり，被害を大幅に軽減させた．豪雨発生から発災までの時間がほとんどなく，洪水ハザードマップも作成されていない防災上不利な地域であることが，この早期避難行動の強い動機といえる．行政機関からの避難情報の多様化・精緻化が唯一の進むべき方向ではないことを示している．

9．現在の行政施策と今次洪水の教訓

今次洪水をうけて，国土交通省は信濃川水系緊急治水プロジェクト[11)]を立ち上げた．河道掘削や遊水地設置などさまざまな方法を組み合わせて，河川の整備水準となる目標流量の洪水を上流から下流まで安全に流下させることを目標に，2027年度末まで重点的に事業を実施していく予定となっている．この未曽有の大水害を受けて，想定する洪水規模の見直しも順次行われている．その例として，今次洪水では，図３に示したように水位上昇の速さが大きかったため，洪水情報発表の目安となる氾濫危険水位および避難判断水位の引き下げを行った[12)]ことや河川の整備目標流量の引き上げ[13)]を検討していることなどがあげられる．

本水害の大きな教訓として，上記に加えて，「水害に対する意識が他と比べて低かった長野県民[14)]に，長野で大水害が起きることを自然が住民に教えてくれたこと」があげられる．災害に対する意識は時間経過とともに風化していくのが一般的であるため，今後は，この意識の高まりを持続させる取り組みがさまざまな立場から続けられることが望まれる．

謝辞

本稿には，国土交通省北陸地方整備局河川部から提供を受けた資料および情報が多く含まれている．ここに記して，謝意を表する．

参考文献

1）内閣府ホームページ：令和元年台風第19号に係る被害状況等について（令和２年４月10日９：00現在），http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf（2020. 10. 04確認）
2）国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ホームページ：防災災害情報―出水情報R１東日本台風（台風第19号)―，http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/bousai/shussui/index.html（2020. 10. 04確認）
3）国土交通省ホームページ：千曲川，https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0406_chikuma/0406_chikuma_00.html（2020. 10. 04確認）
4）国土交通省北陸地方整備局：千曲川堤防調査委員会第３回資料，https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-03.pdf（2020. 10. 04確認）
5）国土交通省北陸地方整備局：千曲川堤防調査委員会第２回資料，https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-02.pdf（2020. 10. 04確認）
6）土木学会水工学委員会：令和元年台風19号豪雨災害調査団（中部・北陸地区)」報告書，土木学会，222p.（2020）
7）末次忠司：河川堤防の耐越水性向上について，水利科学，Vol. 317，p. 43-50（2011）
8）千曲市ホームページ：千曲市復興計画（案），https://www.city.chikuma.lg.jp/docs/2020082600071/files/pabukomeans.pdf（2020. 10. 13確認）
9）信濃毎日新聞ニュース特集：佐久の谷川・田子川拡幅へ，https://www.shinmai.co.jp/feature/typhoon19/article/202001/11025976.html，（2020. 10. 09確認）
10）吉谷純一・豊田政史：令和元年千曲川水害から１年―現状と課題―，土木学会誌，Vol. 105，No. 9，p. 18-19（2020）
11）国土交通省北陸地方整備局ホームページ：https://www.hrr.mlit.go.jp/river/sinanogawakinkyutisuitaisaku/sinanogawakinkyutisuitaisaku_top.htm（2020. 10. 09確認）
12）国土交通省北陸地方整備局記者発表資料：http://www.hrr.mlit.go.jp/press/2020/8/200827chikuma.pdf（2020. 10. 09確認）
13）国土交通省北陸地方整備局第３回信濃川流域委員会資料：https://www.hrr.mlit.go.jp/shinage/shinano-plan/ryuiki/ryuiki/3kai/s-4.pdf（2020. 10. 09確認）
14）牛山素行研究活動記録用ブログ：http://disaster-i.cocolog-nifty.com/blog/2019/10/post-f8284d.html（2020. 10. 09確認）

（原稿受付：2020年10月19日）

解説

地震による液状化現象

著者紹介

飛田哲男（とびたてつお）

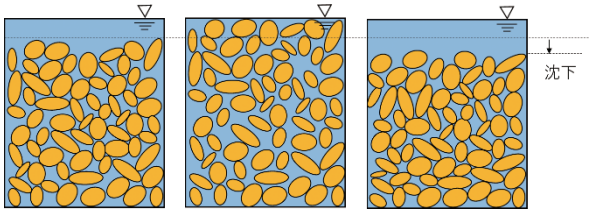
関西大学環境都市工学部
〒564-8680 大阪府吹田市山手町３－３－35
E-mail : tobita@kansai-u.ac.jp

1997年京都大学大学院工学研究科博士前期課程修了，2002年南カリフォルニア大学博士課程修了．京都大学防災研究所助教，准教授を経て，2020年関西大学教授，現在に至る．地盤地震工学に関する研究に従事．土木学会，地盤工学会，日本地震工学会などの会員．Ph. D.

1. はじめに

地盤の「液状化（liquefaction）」は，水で飽和した砂質地盤が地震動による繰返しせん断を受けた結果，土粒子間の水圧（これを間隙水圧という）が静水圧以上に上昇し砂粒が水に浮いたような状態になる現象である（図１）．この時，砂質地盤が密に堆積している場合よりも緩く堆積している場合の方が土粒子間の拘束が外れやすく，液状化の発生リスクが高まる．液状化した地盤からは「支持力（3.3項参照）」が失われるため，ものを支えることができなくなる．このため構造物に沈下や傾斜などの被害が発生する．また，地中に埋設された管路の継手部のずれや抜け，マンホールの浮上（写真１）といった被害が発生する．さらに，傾斜した地盤では，表層が下流に向かって移動する側方流動が発生する[5]．地震後時間が経過すると液状化した砂質地盤の下部の密度は高くなるが，上部は下部からの水圧消散にともなって水が流入するので再び緩く堆積する．そのため，一度液状化した地盤が大地震のたびに液状化していることが報告されている[1]．

1964年新潟地震では，新潟市内の信濃川周辺で大規模な液状化により建物の沈下，傾斜，地盤の側方流動など甚大な被害があった．この地震災害を契機に砂地盤の液状化に注目が集まった．これ以前にも古文書あるいは近代以降の地震被害報告書などに液状化による被害や噴砂の記録が残っているが，メカニズムの解明，液状化予測法の開発など本格的な研究が始まったのは1964年以降である．



(a) 地震前（緩く堆積）　(b) 液状化（土粒子が水中に浮いた状態）　(c) 地震後（下部は密に上部は緩く堆積）

図１　地盤の液状化メカニズム

写真１　浮上したマンホール（2004年新潟県中越地震）

2. 液状化発生の因子と特徴

2.1　液状化の発生に影響する因子

液状化発生の素因としては，浅い地下水位の存在に加え，土そのものの性質である密度，堆積状況などが挙げられる．誘因としては，地震動による繰返しせん断力の波形，振幅，振動数，繰返し回数，せん断の方向などである．既往の調査により，地表加速度が70galから100gal程度以上，気象庁震度でⅣからⅤ以上で液状化の可能性があるとされる[2]．

2.2　液状化しやすい地盤としにくい地盤

ゆるく堆積した砂地盤は液状化しやすい．自然地盤では，沖積低地内の蛇行原，旧河道，自然堤防の堤内地，砂丘間低地などである．人工地盤では，埋

立地盤・造成地，砂質土による盛土，水田などである．1995年兵庫県南部地震では，レキ質土（まさ土）による埋立地で液状化が発生したことが報告されている[3]．一方，液状化しにくいのは，細粒分に富む粘土，シルトが卓越する泥質な地盤，地下水位の低い洪積台地，砂丘などである．

2.3　噴　　砂

液状化が発生すると間隙水圧が上昇し，地中の水は逃げ場を探して地表へと出てくる．この時水だけではなくその流路にある砂や細粒分をともなう泥水が噴き出す（写真２）．地表に現れた噴砂は，その後，人的あるいは自然撹乱ですぐになくなってしまうが，その痕跡は表層の非液状化層の中にさまざまな形の砂脈として保存される．この砂脈が遺跡の発掘調査などで見つかることがあり，古文書などと照らし合わせ過去の大地震の発生日や規模の推定に用いられている[4]．

写真２　港湾の埋立地で見られた噴砂（2003年北海道十勝沖地震）

2.4　側方流動

わずか１%から２%程度の緩傾斜地でも液状化により大きく変位することがある．これを側方流動と呼んでいる．側方流動は比較的広い範囲で発生するため，住宅や地中埋設管を含む多くの構造物が被災し，復旧に時間を要することとなる．2018年スラウェシ島地震（M_w7.5）では，パル市において地表の傾斜角２%程度の地盤が長さ，幅ともに数百mから約1kmにわたって突然液状化（流動化）した．これにより多くの住宅が流され２千人を超える犠牲者が出るなど甚大な被害となった[5]．その詳しい発生メカニズムについてはいまだ明らかにはなっていないが，液状化に起因する大規模な人的被害が生じた事例であると推察される．

3．液状化の発生メカニズム

液状化の発生メカニズムを端的に述べると「水で飽和した砂の非排水条件下での繰返しせん断による負のダイレイタンシーにともなう過剰間隙水圧の上昇と有効応力の減少」である．以下ではこの言葉の意味を詳しく説明する．

3.1　非排水せん断

一般に土は「土粒子」とその間隙に存在する「水」と「空気」の３相からなる．土の間隙がすべて水で満たされている場合，その土は飽和しているという．土の塊を考えたとき，その両端面を逆方向にずらすように変形させる力をせん断力と呼ぶ．地震の大きな揺れは主にS波といわれるが，これはせん断波ともいわれ，地盤をせん断しながら伝ぱする波である．飽和した土塊からの排水を許さない場合，これを非排水条件と呼ぶ．緩詰め飽和砂質土を非排水せん断すると，水の出入りがないため土塊の体積は変化しないかわりに間隙水圧が増加する．このような現象は，通常の地震動継続時間（～数十秒）程度あれば，地盤の深いところで容易に実現される．

3.2　負のダイレイタンシー

金属やゴムなどは連続した分子構造をもち弾性体として力学的性質を考えることができるひずみの範囲は，土と比較して広い．一方，土などの粒状体は，ひずみがごく小さい範囲では近似的に弾性体とみなせるものの，１%程度のひずみですぐに塑性化してしまう．また，粒状体の著しい性質として，せん断変形すると体積変化を起こす（図２）．この性質は，レイノルズが発見しダイレイタンシーと呼ばれている．単にダイレイタンシーというときには，せん断にともなう体積膨張を意味する．負のダイレイタンシーとは，せん断にともなう体積収縮であり，液状化のメカニズムに関係する．

ここで，密な飽和砂から成る土塊がせん断を受け，ダイレイタンシーにより体積膨張するときにどのようなことが起きるのか考えてみよう．

１．密な飽和砂の土塊がせん断変形すると，間隙の体積が大きくなるので間隙水圧が低下する．間隙が水を吸収するといってもよい．
２．間隙水圧が低下すると土粒子間に作用する力，すなわち土粒子を拘束する力（拘束圧）が増加する．
３．粒状体の剛性は拘束圧が高いほど大きくなるので土塊は固くなる．

これが地震時に地盤中で起きると，加速度波形に振幅の非常に大きなスパイク状の波形が繰り返しあらわれる．この現象は「サイクリックモビリティー（Cyclic mobility）」と呼ばれている．図３は，1993年釧路沖地震時に観測されたサイクリックモビリティーによるスパイク状の加速度波形[6]の一例である．

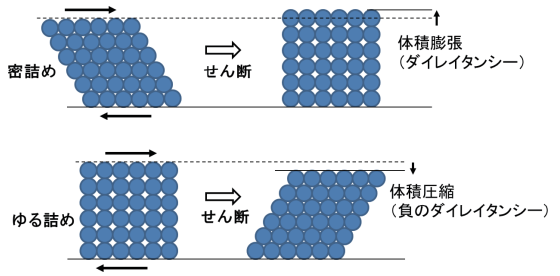


図２　粒状体のせん断変形に伴うダイレイタンシー

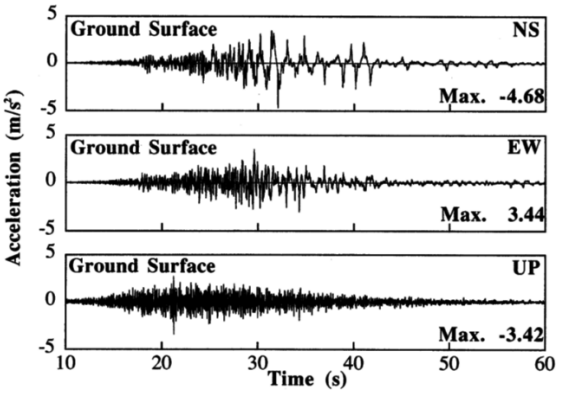


図３　1993年釧路沖地震で観測されたサイクリックによるスパイク状の加速度波形[6)]

3.3　有効応力

全応力，有効応力，過剰間隙水圧と加振による過剰間隙水圧の関係を図４に模式的に示す．有効応力とは，土粒子同士の接触点において伝達される応力で，土の変形に寄与する．すなわち，地盤を変形させたり，地盤が構造物を支持したりできるのはこの有効応力のおかげである．地盤が構造物を支えることのできる荷重容量を「支持力」と呼んでいる．地震動が作用する前の有効応力σ_0'（ここでは「初期の有効応力」と呼ぶ）は，全応力σと間隙水圧uを用いて式(1)のように表現される．

$$\sigma_0' = \sigma - u \tag{1}$$

ただし，圧縮応力を正とする．この有効応力の定義は1925年Karl von Terzaghi（テルツァーギ）によってなされ，以来土質力学の基本的原理として用いられている．

3.4　過剰間隙水圧

単に間隙水圧という場合，それは飽和土の間隙中の水圧を指し，飽和地盤内の静水圧に等しい．過剰間隙水圧Δuは，静水圧からの増分であり，ゆる詰めの飽和土が非排水せん断変形を受けると，3.1項で述べたように体積圧縮する代わりに過剰間隙水圧が発生し体積が一定に保たれる．この時の有効応力σ′は過剰間隙水圧Δuを用いて式(2)のようにあらわされる．

$$\sigma' = \sigma - (u + \Delta u) \tag{2}$$

この式より，過剰間隙水圧Δuが増加し続けると有効応力σ′が減少することがわかる．いま，過剰間隙水圧が増加し，ちょうど初期の有効応力に等しくなったとする．すなわち，式(1)より，

$$\sigma_0' = \sigma - u = \Delta u \tag{3}$$

とする．これを式(2)に代入すると有効応力は，$\sigma' = 0$となり土は支持力を喪失することがわかる．この応力状態が液状化である．以上より過剰間隙水圧には上限値があり，それは初期の有効応力に等しいことがわかる．

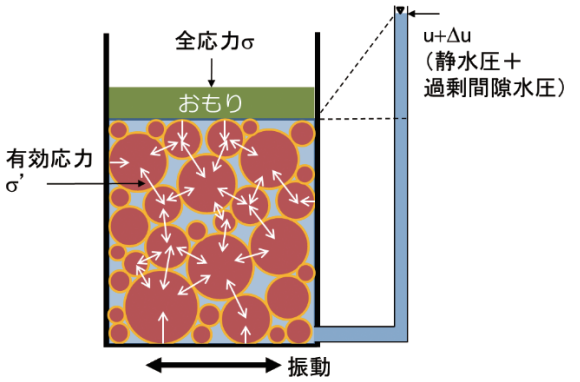


図４　全応力，有効応力，過剰間隙水圧と加振による過剰間隙水圧

このことを次の事例により確かめてみる．図５のように，水深Hの水の下の飽和砂地盤が地震動を受け過剰間隙水圧ΔHが発生している状態を考える．ここで，土の飽和単位体積重量をg，水の単位体積重量をg_wとする．深さzにおける全応力は，

$$\sigma = \gamma z + \gamma_w H \tag{4}$$

のように表される．また，地震前の深さzにおける間隙水圧は静水圧に等しく，

$$u_0 = \gamma_w (z + H) \tag{5}$$

であるから，地震前の初期の有効応力（＝初期有効上載圧）は式(4)と式(5)より，

$$\sigma_0 = \sigma - u_0 = (\gamma - \gamma_w) z = \gamma' z \tag{6}$$

となる．ここで，水中単位体積重量を$\gamma' = \gamma - \gamma_w$とおいた．一方，地震時には過剰間隙水圧が発生するので間隙水圧は，

$$u = \gamma_w (z + H + \Delta H) \tag{7}$$

となる．この時，深さzにおける有効応力（=有効上載圧）は，式(4)，式(7)より，

$$\sigma' = \sigma - u = \gamma' z - \gamma_w \Delta H \tag{8}$$

と書ける．いま，地盤が液状化している場合には，有効応力がゼロ，すなわち$\sigma' = 0$なので，式(8)と式(6)より，

$$\gamma_w \Delta H = \gamma' z = \sigma_0' \tag{9}$$

が成り立つ．式(9)は「過剰間隙水圧が初期有効上載圧に等しい状態」が液状化であることを示している．

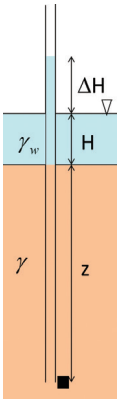


図５　加振により過剰間隙水圧が上昇した時の管内の水位

4. 液状化による被災事例[7)]

液状化にともなう被災は，地盤支持力の低下に起因する．道路や鉄道，河川堤防などの盛土には，すべりや沈下が生じ，ときには堤体が流失することもある（写真３）．また，地盤の支持力低下により家屋の基礎が不同沈下を起こし家屋全体が傾くことがある．家屋の傾斜角が１/100を超えると住人にめまいや頭痛が生ずるといわれており，水平復元工事が必要となる．水平復元工事には，家屋をジャッキアップするなどの方法が考案されている．

液状化層を貫く杭基礎が，液状化層と非液状化層との境界部において損傷した事例がある．このような場合，上屋の被災程度が軽くても共用不可と認定される．液状化地盤中の杭基礎の設計においては鉛直荷重だけでなく，地盤の側方流動にともなう外力を考慮することが求められている．

管路やマンホール，地中タンクといった地中構造物には，継手の抜け，浮上がり（写真４），曲げによる破損などが生じる．地中埋設管路は普段目にすることはあまりないが，上下水道網をはじめ都市の主要なライフラインを担っているため耐震化が強く求められる構造物である．たとえば，下水道は自然流下を基本として設計されるため管路の傾斜がわずかでも変化すると下水が管内に滞留してしまう．下水道が使えなくなると次に水道の使用が制限され，その後の市民生活に大きな影響を与えることになる．

護岸構造物では，ケーソン式（重力式）岸壁の海側への傾斜，矢板護岸のはらみ出しなどの被害が発生する．1995年兵庫県南部地震では，京阪神の主要な港湾地域で大規模な液状化被害が発生した．港湾構造物の典型的な被災形態として，ケーソン式岸壁の沈下対策として用いられていた置換え砂の液状化による岸壁背後地盤の沈下がある（写真５）．写真６は，岸壁の傾斜が誘発した橋桁の落下事例である．

写真３　道路盛土の沈下と側方への移動（2011年東北地方太平洋沖地震）

写真４　火力発電所の貯水槽の浮上り（2011年東北地方太平洋沖地震）[7)]

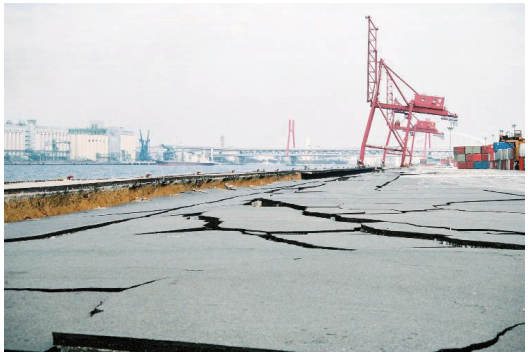


写真５　岸壁背後地盤の沈下（撮影：井合進）

写真６　地盤の側方流動に伴う橋脚の移動と橋桁の落下[3)]

5. 液状化対策の効果[7)]

1995年兵庫県南部地震では，各種液状化対策工法による地盤改良の有効性が実証された．図６にはポートアイランドにおける地盤改良を施した区域が工法別に示されている．一方，図７に示す噴砂の分布図より，改良区域では噴砂が見られなかったことがわかる．また，現地調査においても改良区域内の建物はほぼ無被害であったことが報告されている[3)]．

同地震におけるその他の実証事例として，埋立地の臨海部に立地する高層建築物（ホテル）が挙げられる．そのホテルでは，設計段階から液状化の可能性が検討されており，深層混合処理工法による格子状地盤改良工法が初めて高層建築基礎に採用された．この工法は，杭基礎の周囲を格子状のセメント壁で囲い，地震による地盤のせん断変形を抑制することを狙ったものである[3)]．ホテルは無被害であり地震と同じ年の７月に無事開業を迎えた．

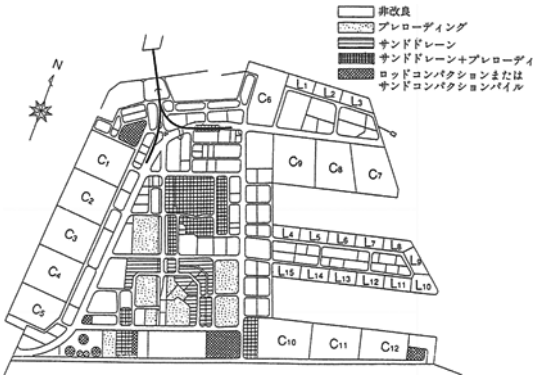


図６　ポートアイランドにおける地盤改良区域[3)]

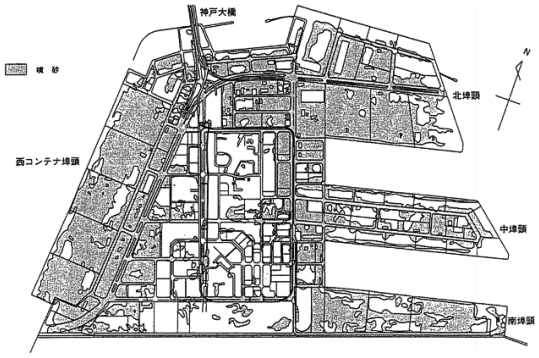


図７　ポートアイランドの噴砂の分布[3)]

6. ま と め

本解説では，地盤の液状化に関して，その発生因子，メカニズム，被災事例，対策工法について簡潔に述べた．地盤の液状化を考慮した数値解析法については，発展が著しくすでに設計実務に取り入れられているが，紙幅の都合上，その詳細についてはここでは割愛した．

参考文献

1）若松加寿江，日本の液状化履歴マップ745-2008，東京大学出版会，pp. 88（2011）
2）安田進，液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，pp. 243（1997）
3）阪神・淡路大震災調査報告，阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編，土木・地盤６，丸善（1998）
4）寒川旭，地震考古学―遺跡が語る地震の歴史，中公新書，pp. 251（1992）
5）産経ニュース，【クローズアップ科学】液状化と地滑り津波で被害拡大　インドネシア地震（2018年11月11日），2020年11月22日閲覧
6）Iai, S., Mroita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y., and Abiko, K., Soils and Foundations, Vol. 35, No. 1, p. 115-131,（1995）
7）自然災害科学･防災の百科事典，丸善（2021）（出版予定）

（原稿受付：2020年11月23日）

解説

最近の高波・高潮による港湾施設の被害状況

著者紹介

鈴木　高二朗（すずき　こうじろう）

港湾空港技術研究所耐波研究グループ長
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
E-mail : suzuki_k@p.mpat.go.jp

1994年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了．港湾技術研究所耐波研究室研究官，2014年耐波研究グループ長，現在に至る．海岸工学，環境水理学の研究に従事．土木学会．博士（環境学）．

1. はじめに

2018年の台風21号は，関西国際空港や神戸，大阪での大規模な浸水被害を招き，わが国の交通，物流機能を麻痺させた．この台風によって発生した高潮位は1961年の第２室戸台風の既往最大潮位を超えるものであり，高潮，高波による大規模災害の脅威を再認識させることとなった．

この台風21号だけでなく，近年，大規模な台風がわが国に来襲しており，被害も数多く発生している．本稿では，著者らが最近４年間に実施した現地調査をもとに，最近の台風による災害事例を述べ，その特徴を明らかにすることとした．

2. 最近の台風と被害状況

2.1　被害の大きかった最近の台風

本論文では2016年～2019年の４年間に発生した台風とその被害について述べる．表１は被害の大きかった台風の一覧であり，カテゴリー，最低気圧，上陸か所を示している．

表１　近年の大型台風と被害地域

		最低気圧	カテゴリー	上陸地	被害地
2016	10号	940	4	大船渡	仙台、小名浜
2017	21号	915	4	掛川市	清水、久里浜、日本海側
2018	21号	915	5	徳島県	関西
2018	24号	915	5	田辺市	沖縄
2019	15号	955	4	千葉市	横浜
2019	19号	915	5	伊豆半島	川崎

2.2　台風1610号

台風1610号は８月21日に発生し，８月30日に岩手県大船渡市付近に上陸した（図１）．この台風は1951年に気象庁が統計を取り始めて以来，初めて東北地方に上陸した台風であり，北海道から福島県におよぶ波浪観測地点のうち９地点で既往最大有義波高が更新された[1]．被害は上陸地点の大船渡港で防波堤の上部工が破損したほか[2]，仙台湾では図２に示すような防波護岸（防波堤が前面になく，直接波を受ける護岸をよぶ）の被災が発生した．この防波護岸はマウンドの上にケーソンが設置され，その背後を埋め立てた構造である．波の圧力がマウンドを透過して護岸背後に伝達し，強大な揚圧力によってケーソン背後のコンクリート板が浮き上がっている．

一般的に北半球では台風の進路の右側の風が強く，危険半円と呼ばれており，その危険半円にあたる三陸地方では既往最大の高波が観測された．しかし，危険半円にあたる港湾施設には大きな被害が発生していなかった．三陸地域はリアス海岸であり，その入り江にある港湾では波が比較的小さかったため，大きな災害にはいたらなかったものと考えられる．また，防波堤が通常冬季風浪が大きくなる北からのうねりに対して設計されており，波が防波堤に対して斜めに入射したことも被害が小さかったことの要因と考えられる．

図１　防波護岸背後の被害状況
マウンド透過波によりケーソン背後が破損した

2.3　台風1721号

台風1721号は10月16日に発生し，10月23日に静岡県の掛川市付近に上陸した．清水港にて護岸等の被害が発生したほか，台風の危険半円に相当した三浦半島でも浸水被害が発生した．

図２は久里浜海岸に隣接する道路であり，砂浜から砂が波で打ち上げられて通行止めとなった状態である．三浦半島では道路護岸が波浪で陥没する被害が多数発生していた．

越波による浸水被害も発生した．図３は港湾空港技術研究所の浸水状況であり，UAVによる地盤高の計測と浸水の痕跡分布から浸水範囲を推定したものである[3)]．浸水は高波が護岸を越えて起こる越波現象によって発生しており，研究所のほぼ全体が浸水していた．

台風1721号は巨大であり，上陸地点から離れた日本海側でも強い北東の風で高波が発生し，防波堤の消波ブロックの散乱・沈下被害が発生した．

図２　砂浜に隣接する道路が砂で覆われた状況

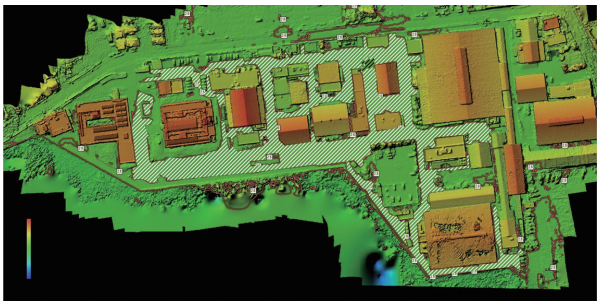


図３　ドローンによる撮影で判明した港湾空港技術研究所の浸水状況（ハッチングした箇所が浸水範囲）[3)]

2.4　台風1821号

台風1821号は近畿地方に来襲した巨大台風であり，８月28日に発生し，９月４日に徳島県南部に上陸し，同日，兵庫県神戸市に再上陸した．大阪港，神戸港では1961年の第２室戸台風による既往最高潮位を超える潮位が観測された．その結果，兵庫県，大阪府，和歌山県を中心に広い範囲で浸水被害が発生し，関西国際空港や六甲アイランドの国際戦略コンテナターミナルなどが浸水することで，経済活動に大きなダメージが発生した．

図４は六甲アイランドで撮影されたコンテナの散乱状況であり，海水が高潮と高波で六甲アイランドに浸入する過程でコンテナが流され，コンテナターミナルの外周のフェンスに当たって積み重なっているのがわかる．図５はターミナルの外の道路から撮影したコンテナの状況であり，流されたコンテナがフェンスに寄り掛かって止まったものと考えられる．また，図６のように自動車も数多く流されていた．

図７は六甲アイランドの浸水深，浸水高である．六甲アイランドの東側では約２mに及ぶ浸水が発生し，コンテナだけでなく数多くの自動車も流されていた．六甲アイランドは人工島であり，築造後，一部で徐々に地盤沈下が発生しており，浸水による被害が大きくなる要因となった．

なお，ここで浸水深とは地面からの最大の浸水深さであり，浸水高とはそのときの天文潮位から高潮時の水面までの高さである．ここでは浸水深と地面の標高を足して浸水高としている．

関西空港の浸水にも地盤沈下が大きく影響しており，護岸を越波した海水によってほぼその全体が浸水することとなった．地盤沈下はかねてから浸水被

図４　六甲アイランドでのコンテナの散乱状況

図５　漂流したコンテナがフェンスによりかかっている状況

図６　六甲アイランドでの自動車の散乱状況

図７　六甲アイランドでの浸水深，地盤高および浸水高

害の発生要因の一つである．

2.5　台風1824号

台風1824号はカテゴリー５の巨大台風であり，９月21日に発生し，29日に沖縄に最接近し，30日に和歌山県田辺市付近に上陸した．

沖縄県では東側の沖縄市泡瀬地区において浸水被害が発生したほか，西側の複数の防波護岸が被害を受けた．また，奄美大島の名瀬港の防波堤のケーソンの滑動被害も発生した．

図８は沖縄の防波護岸の倒壊状況である．これらの護岸は捨石の上にコンクリートの上部工や埋立土砂が設置されており，捨石を透過した波力（揚圧力）によって上部工が倒壊したものである．

図９および図10は護岸のマウンド砕石内部に働く波圧を再現したものである．図10は波圧の時系列波形であり，波が来襲すると静水圧的な成分が徐々に上昇するとともに，波の１波１波の動圧成分も発生し，30kPaを超える圧力がマウンドの奥まで伝達している．

これまで護岸は波力に対して土圧が抵抗するとして，波力に対する設計がなされてこなかった．実際には捨石を透過する波力が厳しい場合もあり，今後，この波力を考慮した設計が必要である．

図８　防波護岸の倒壊状況　マウンド透過波によって上部工背後の地盤が持ち上げられ，護岸が倒壊した事例

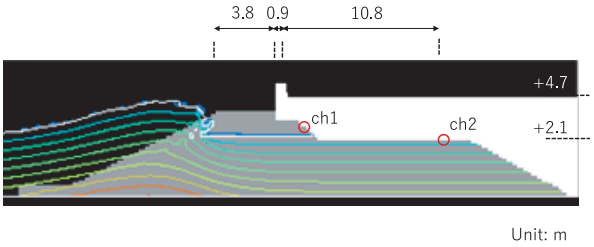


図９　護岸に作用する波の再現計算

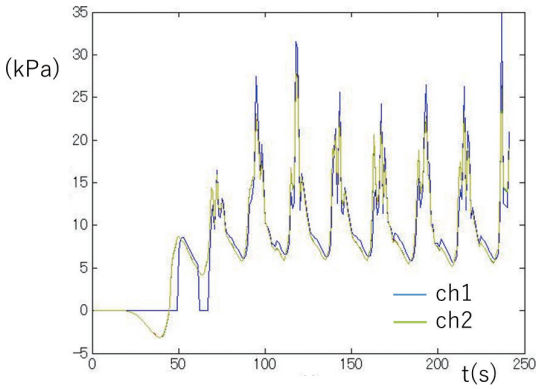


図10　マウンド透過波による波圧

2.6　台風1915号

台風1915号は，９月５日に発生し，９日に三浦半島を通過し，同日中に千葉県千葉市付近に上陸した．この台風で横浜市の本牧D突堤，および金沢区の福浦，幸浦地区が大規模に浸水した．東京湾では湾の西側を北上する台風による東京湾奥での高潮，高波がもっとも厳しく，湾の南側に位置する横浜地域は相対的に高潮，高波が大きくない．そのため，これまで顕著な浸水被害が発生していなかったが，台風1915号では台風が三浦半島を通過する際に強い東風が吹くことにより，高波が発生して浸水が発生した．

図11は護岸の被災状況である．護岸の上に設置されているパラペットが高波による波力で倒壊し，この倒壊が波による越波量をさらに増大させて浸水被害が拡大したものと考えられている．

本牧D突堤および金沢区の護岸は，護岸の上部が陸側に下がっている後退パラペット構造となっていた（図12）．その後の調査で，この構造がパラペッ

トの倒壊を助長したことが明らかとなった[4]．

一般的な護岸では波が重複波となって，護岸前面の水の動きは上下運動をするのみであるが，後退パラペットの場合には水塊が下部の直立壁から飛び出し，その水塊が後退パラペットに衝突することで強大な波力を発生させる．

図11　護岸パラペットの倒壊状況（本牧D突堤）

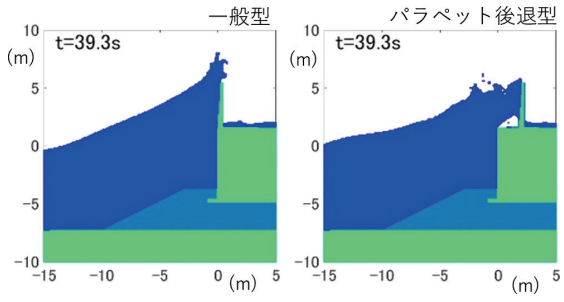


図12　一般型とパラペット後退型での波の作用状況

2.7　台風1919号

台風1919号は，10月６日に発生し，12日に伊豆半島に上陸した．この台風は台風1915号と似た経路で日本に上陸しており，1915号で護岸が被災したか所で大規模な浸水の恐れがあった．そこで，急遽護岸の被災か所に２つのラインで土のうが設置され，越波浸水を免れた．図13はその状況であり，第１ラインは土のうが倒れてはいるものの，第２ラインは崩れておらず大きな浸水が防がれている[5]．ただし，台風1919号のルートは台風1915号と，若干異なっており，被災か所に来襲した波が比較的小さかったことも浸水を免れる要因ともなっている．

台風1915号と1919号のように，似たルートを通る台風は少なくない．たとえば，台風1821号の前には台風1820号が兵庫県に来襲し，台風2009号の後に台風2010号という大型台風が続いている．土のうのような仮設構造物は，完全に浸水を防げるものではないが，設置の工夫によっては連続して来襲する台風への対策工となりうるものと考えられる．

図13　台風19号による浸水を防いだ土のうの事例

3. 施設の被害の特徴

２章では，それぞれの台風で発生した被害について述べた．特徴的な破壊は以下のとおりである．
①捨石（マウンド）透過波力による護岸の被害
②強大な越波波力による護岸のパラペットの倒壊
③地盤沈下（関西空港等）による越波浸水

このうち，①と②は護岸に働く強大な波力によるものであり，前述したようにこれまでの設計ではあまり考慮されてこなかった課題である．地球温暖化により，今後，海面上昇と波浪の増大が懸念されているが，これら２つの項目は，その影響をともに受けるものである．また，③の地盤沈下も重要な問題であり，埋め立て地では継続的に地盤高を調査していく必要がある．

4. おわりに

本稿では最近の高波・高潮による港湾施設の被害状況について述べた．護岸の被害が顕著であり，今後の海面上昇や台風の大型化に備えて，場所によっては対策を施す必要がある．「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年版）」では，護岸に働く波力を考慮することが盛り込まれており，今後の設計で護岸の被害が少なくなるものと期待される．

参考文献

1）川口浩二・末廣文一・藤木俊・田村仁：全国港湾海洋波浪観測年報，港空研資料，No. 1342, 123p.（2018）
2）Mohammad Heidarzadeh, Takumu Iwamoto, Tomohiro Takagawa, Hiroshi Takagi：Field surveys and numerical modeling of the August 2016 Typhoon Lionrock along the northeastern coast of Japan, Natural Hazards, https://doi.org/10.1007/s11069-020-04112-7（2020）
3）川口真吾・鈴木高二朗・鶴田修己・朝比翔太：UAVによる沿岸域の写真測量の精度の検討，港空研資料，No. 1360, 123p.（2018）
4）久保田博貴・鈴木高二朗：2019年台風15号の高波による護岸の被災要因の検討，土木学会論文集S2，印刷中（2020）
5）国土交通省港湾局：港湾における高潮・高波被害軽減のための土のう設置事例集（2020）

（原稿受付：2020年11月11日）

会議報告

コロナ禍でのROBOMECH2020とフルードパワー技術研究の動向

著者紹介

山田泰之（やまだ　やすゆき）

法政大学

〒162-0843 東京都新宿区市谷田町２－33

E-mail : y.yamada@hosei.ac.jp

2013年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士後期課程修了．日本学術振興会特別研究員，中央大学理工学部助教などを経て，2019年法政大学デザイン工学部准教授，現在に至る．スマートメカニズム，ソフトロボティクス，デザインエンジニアリング関係の研究に従事．

1. はじめに

ロボティクス・メカトロニクス講演会2020（ROBOMECH2020）は，日本機械学会のロボティクス・メカトロニクス部門が主催により，「異分野融合を加速させるロボティクス・メカトロニクス」をテーマに，2020年５月27日（水）～30日（土）に，石川県金沢市の石川県産業展示館で国内最大規模のポスター・デモンストレーション講演会として開催予定でした．しかし，本会期は新型コロナウイルス感染症流行の渦中であったため，ソーシャル・ネットワーキング・サービス（以下SNS）であるFacebookなどとの，異分野融合を加速させた形での，オンライン発表形式にて例年規模での実現を果たしました．本報告では，紙面を割いてそのオンライン発表についても報告する．

2. SNSを利用したオンライン学会

ROBOMECH2020は，例年のポスター・デモンストレーション講演による，ライブ感のある講演形式を，SNSであるFacebook，動画配信サービスYouTube，オンラインミーティングツールであるZoomなどを利用したまったく新しい形式にて，オンラインで開催された．Facebookは個人，企業が日々の記録や記事などを文章や写真，動画でアップロードして，ユーザ間で交流するSNSであるが，そのプラットフォームを利用して図１のように開催された．学会が指定したFacebookグループ上に，事前に録画された発表内容のYouTubeのURLや，講演者が待機しているZoomのURLが記載されている．発表者と参加登録者はFacebook上のチャット（短い文章）や，Zoomを用いたテレビ会議で議論を交わした．

図１　Facebookによるオンライン講演の様子（ROBOMECH2020公式サイトより）

3. 研究発表の動向

表１に分野別のセッション数と代表的なオーガナイズドセッション名を示す．フルードパワー・ロボティクスセッションをはじめて13分野全体で，75のオーガナイズドセッションが企画された．技術のインテグレーションが進む中で，全体の講演の中で，どれをフルードパワー関連の発表とするかは判断が難しい．たとえば，表２のようにフルードパワー関連のキーワードを題名に含む論文は，重複なしで41件あり，空気圧をキーワードに含む論文数が最

表１　分野別セッション数および代表的オーガナイズドセッション名

分野名	セッション数	代表的なオーガナイズドセッション名
ロボメカにおける基盤制御技術	9	フルードパワーロボティクス
ロボメカ技術の応用システム	7	建設＆インフラ用ロボット・メカトロニクス
屋外環境でのロボメカ技術	6	飛行ロボット・メカトロニクス
人間協調・共存システム	6	ウェアラブルロボティクス
医療・福祉システム	6	医療ロボティクス・メカトロニク
ロボットシステムのための環境	4	ネットワークロボティクス
人間および生物規範	8	バイオロボティクス
移動ロボット	7	脚移動ロボット
機構と制御	5	ソフトロボット学/フレキシブルロボット学
感覚と計測	7	触覚と力覚
ナノ・マイクロシステム	6	MEMSとナノテクノロジー
ロボメカを使った教育	2	ものづくり教育・メカトロニクスで遊ぶ
ストラテジック・セッション	2	原子力施設廃止措置のためのロボティクス・メカトロニクス

表２　発表論文の題名中のキーワードと発表件数

キーワド	発表件数
空気圧	16
空圧	6
油圧	15
水圧	1
流体駆動	3

表３　フルードパワー関連オーガナイズドセッションにおける関連発表件数推移

フルードパワー関連 オーガナイズドセッション	フルードパワー関連論文数	
	2018年度	2020年度
フルードパワーロボティクス	11	18
ソフトロボット学/フレキシブルロボット学	10	23
アクチュエータの機構と制御	8	9

多であった．つぎに，著者の分析によるが，オーガナイズドセッションにおけるフルードパワー関連発表が多い上位３セッションの関連発表件数を本年度と2018年度で比較した．どのセッションにおいても，フルードパワー関連発表数が増加しており，特にソフトロボット学／フレキシブルロボット学（旧：フレキシブルロボット／ソフトロボット）では倍増している．

4. 研究発表の紹介

フルードパワー関連のいくつかの論文を紹介する．今回著者が着目したのは，流体駆動を制御する弁についての研究である．前章で分析したように，空気圧駆動やソフトロボット関連発表の増加にみられる，当該分野の研究の盛り上がりが，システム自体の構造柔軟性や小型化，軽量化などのために制御弁に対する新たなニーズを生んでいるものと考える．

4.1　流体圧自励振動弁

ロボットを動作させるためには空気圧を供給するラインと，供給を切替る電磁弁が必要である．そのため，動作させるロボットが複雑化するほど多くの供給ラインとバルブが必要となり，空気圧システムが複雑化してしまうという課題がある．飯田ら[1]は，複数のアクチュエータを１本の供給ラインによって駆動することが可能な自励振動バルブを提案するとともに，制御用の伝達経路として複列化して，提案した自励振動バルブの位相操作や加減圧を制御した．

4.2　２方向屈曲アクチュエータのための空気圧自励弁

羽田ら[2]は，柔軟な変形機構を持つロボットの体節の往復運動による進行波の生成などを目的に，これらの柔軟変形移動体に用いられる２方向屈曲モジュールを，空気供給の加圧のみでを行う，チャンバ切り替え可能な空気圧自励弁を提案した（図３）．

4.3　流路自動切り替え型自励振動空圧アクチュエータ

谷ら[3]は，ロボットの小型化や制御手法の効率化

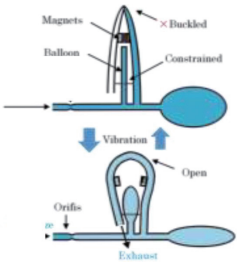


図２　流体圧自励振動弁[1)]

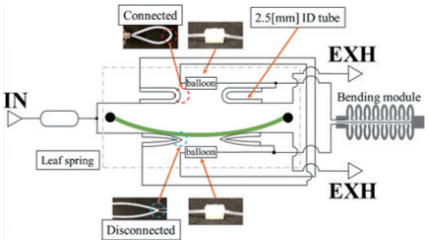


図３　２方向屈曲アクチュエータのための空気圧自励弁[2)]

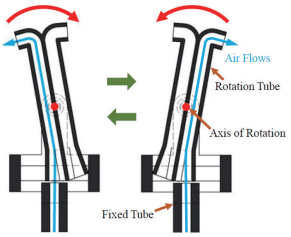


図４　流路自動切り替え型自励振動空圧アクチュエータ[3)]

を実現する方法として，中でも非振動的な入力から自励振動を誘発させる空圧アクチュエータに着目して，図４のような3Dプリンティングによる一体成形手法で空気による自励振動するアクチュエータと，それに着目した羽ばたきロボットを提案した．

5. おわりに

本講演会ではフルードパワーの特長を活かした多様なロボットやメカトロニクスシステムへの応用事例が，多数見ることができた．来年のROBOMECH2021は2021年６月６日～８日の日程にて大阪南港ATCホールで開催予定である．

参考文献
1）飯田侑美，塚越秀行，流体圧自励振動弁の位相制御，1P2-H07
2）羽田拓也，青木岳史，２方向屈曲アクチュエータのための空気圧自励弁の開発，1P1-L21
3）谷晃輔，難波江裕之，遠藤玄，鈴森康一，流路自動切り替え型自励振動空圧アクチュエータのロボット応用，2P1-I05

（原稿受付：2020年10月20日）

トピックス

学生さんへ，先輩が語る
―油空圧機器メーカの工場より―

著　者　紹　介

亀田（かめた）　尚人（なおと）

株式会社TAIYO

〒759-2212 山口県美祢市大嶺町東分池尻3058－8

E-mail : naoto.kameta@parker.com

2013年水産大学校海洋機械工学科→専攻科：船用機関課程卒業，同年株式会社TAIYOへ入社，現在に至る．主に油圧シリンダ特注品の設計業務を担当

1. はじめに

1.1　自己紹介

私は機械に携わる仕事がしたい思いがあり，大学は水産大学校の海洋機械工学科に入学した．そこでは幅広い分野の機械知識を学ぶことができ，また大学の保有する練習船に乗り込み，洋上で実際に機関士としての職務を行い航海をする乗船実習を経験した．TAIYOは大学の求人案内で知り，その時点では地元に製造工場があるということしかわかっていなかった．そこで作られているのが，船内でも広く使われる油圧システムの駆動部分ということで興味を持ち入社した．

1.2　企業紹介

当社は図１の製品を扱う油空圧機器の総合メーカであり，あらゆる産業インフラストラクチャーのものづくりを支えている．油圧・空圧ともに，シリンダを軸として周辺機器から特注品まで製品展開を行っている油圧機器本部と空気圧機器本部，業界別の個別ニーズに対応し，多彩な複合製品を提供している装置本部といった３つの事業本部を備える．2012年からはパーカー・ハネフィン社のグループ企業となり，製品ラインナップと保有技術を拡充し，よりグローバルに事業を展開している．

図１　当社の製品群

1.3　職場紹介

当社の山口工場（写真１）は，先述の油圧機器本部に属する製造拠点で，大小さまざまな油圧シリンダと油圧ユニット関連機器を製造・出荷している．建屋全体に油圧シリンダの構成部品の加工と組み立てを行う製造ラインが連なっており，出荷場では検査を終えたシリンダが集積されていく光景を見ることができる．

写真１　当社山口工場外観

2. 学生時代を振り返って

私は高校時代までは進路が漠然としたまま過ごしていたが，水産大学校に入ったのは当時の講師の勧めであった．履修した科目で講義や実習を受けるのはおそらく普通の大学と同じなのだが，先に述べたようにすべての学生が課程の中で乗船実習を行う．船の中はある意味で社会の縮図であり，そこに存在

する発電機などさまざまな補機類が人間社会のインフラ設備と同様の役割を担っている．洋上の特殊な環境で生活してみて得られた知見は，エンジニアリングとしての分野に留まらず自分の人生にとって大きな意味を持つことになった．

そういった大学生活の中で特に強く印象に残っている言葉が２つ程ある．ひとつ目は「自分が関わらないことは知らなくて良い，という訳でない」ということである．たとえば同じ船を動かす乗組員であっても航海士と機関士はまったく仕事内容が異なる．極端なことをいうと，機関士は航海士がどういった仕事をして船を動かしているか知っていなくても自分の仕事を行うことは可能である．しかし，当直中にどんなことをしているか知っておかなければ，その時の状況に対して予想される航海士の指示や対処への対応力に顕著に差が出てしまう．こういった連携を求められる場合でないにしろ，現在でも昔僅かに学んだことが思わぬ形で自分の携わる仕事に影響を与えてくることがある．したがって学生時代に専門分野とするところ以外の知識も，概要だけでも触れておいて欲しい．

２つ目は「知っていることとできることは違うこと」である．当たり前のようなことであるが，この場合習熟度の違いという部分に焦点が当たる．資格試験の勉強や座学を通して学んでいたとしても，実際の整備作業などをした際に乗組員の方に教わって初めて理解につながるようなことはとても多かった．知識があるだけでは不十分だから経験してものにせよ，というのは短い船内生活でも身に染みて感じた教えであった．社会人になってからは余裕のある密度でじっくり研修や教育を受けられる機会は少ない．できないことをできるようにするために，何を学ぶ必要があるか，自分に何ができて何ができないのかという自己分析がより求められているように思う．

3. 社会人の仕事紹介とやりがい

3.1　仕事内容紹介

現在私が従事している設計業務では，主に油圧シリンダの特注品に関する設計を行っている．顧客の要望を満たすとおりに細部の仕様を決定し，図面や製作指示書を作成する業務になる．受注前に作図・検討を含めて営業担当者を通し，顧客と製品仕様のすり合わせをすることもある．

製造現場とも密接に関わることも多い中，特注品に関して生産性向上やコスト低減に取り組むケースが増えており，製品としての要件は満たすものの作りにくいといった要望を解決するための改善にも取り組んでいる．

3.2　入社して変化した考え方など

学校の勉強で出題される問題と違い，仕事においては模範的な正解が用意されていることはほとんどない．たとえば設計においても，直面する問題に対して解決策が複数あり，そのうちどれかを選ばなくてはならないという状況が頻出する．このときに明確な根拠を示しつつ最適な解法を導くために必要になるのが判断力と決断力だ．そしてこの２つはほぼ勉強だけでは鍛えることができない．これは長らく試験勉強に慣れ親しんで入社した新社会人を困惑させる最も大きな問題のひとつと思っている．私自身，学生時代は社会人にまず問われるのは問題解決能力だといわれていたが，相談することはできても最終的に自分自身で判断しなければならないことが数多くあることには当初かなり戸惑った．

3.3　コミュニケーションのとり方や人間関係

工場で製品を作ろうとするためには，実際に加工や組立を行う製造部以外でも，設計・資材調達・設備保全・品質管理などさまざまな部門の業務が必要となっている．自分ひとりだけで完結している仕事というのがあまりない中，他部署の社員との調整はほとんど必須になる．しかしながら，ここで必要となるコミュニケーション能力とは，共通の話題を見つけて信頼関係を深めたり，非言語的な要素を読み取り相手が期待している行動を類推する能力のことを示してはいない．相手のことを考えて意見を言うこと，客観性を大事にして目標を見失わないこと．円滑に話し合いを進めるために必要なことさえ守っていれば，何らかの取り決め事を作る際にもスムーズに話が進めることができる．

つまりは就職活動でもてはやされるほど，仕事で求められるコミュニケーション能力とはそこまでハードルが高いものではないと思っている．一方で，個人的に必要に感じたのは人と何か話し合ったり伝えたりというときの感情のコントロールだ．これは自分だけでなく話し相手も含まれる．相手に不都合な情報を伝えなくてはならない場合，なるべく相手の感情を刺激しないような言い回しをしたり，感情的に発言している相手を鎮めたり，あるいはペースを乱されないといった塩梅だ．私自身はこういった交渉術は得意な方ではないのだが，互いに論理だって話をするための努力には，意外と感情面のフォローも必要であったりする．

3.4　仕事で使うおすすめの道具

基本的にパソコンと電卓を使う程度で特別な道具などはないが，あると便利だと思うものはいくつかある．最近気に入っているのは針を使わないタイプのステープラーだ．デスクワークとはいえどパソコ

ンの画面上だけでなく，紙の資料に目を通す機会は多い．資料をまとめるときにはクリップを沢山使うことが多いが，整理の際にこれの代用として使っている．物理的にかさばりにくく，のちにシュレッダーに通すときに針の分別が不要なので，地味ながら重宝している．また，細かい所ではあるが融通が利く場合はマウスやキーボードといったパソコンの周辺機器をなるべく身体に馴染むものを選ぶようにしている．ほぼ毎日使い続けるので，機能として必要最低限というよりは気持ちよく使いたいと思ってしまい，ほぼ私品で揃えていた時期もあった．

3.5　リフレッシュのしかた

自力で解決・克服できない要因により仕事がうまくいかない，ということも時折起こるものであり，ストレスとのつきあい方はとても大事になってくる．そのうえでは趣味をたくさん持つことがストレスを抱えないための要点のひとつだと思う．現在のコロナ禍で思うようにできないということがあるように，好きなものをずっと続けられるという保証はなかったりするのである．私はまとまった休みがあるときは，遠方まで車を運びツーリングを行うのを楽しみとしている．昨年はカーフェリーを利用して（写真２）三重県まで足を延ばすことができたが，今年は予定が立てられなかったのが残念に思っている．もともとゲームが好きなので，インドア趣味だけに縛られてもひとまずは平気なのだが，広く浅くになってしまっても自分にプラスになる選択肢を増やしておいて損にはならないなと感じている．

写真２　カーフェリーでの下船

4. ま と め

今年のパンデミックの発生を転機として，生活の中の仕事のあり方も今後大きく変わってくるものと思う．就活を控える学生諸子も変化する環境への対応力が問われていることと思うが，新入社員が働きやすいような環境を整えるのも社員の私達の務めであり，職場改善にもより一層取り組んでいきたい．

私は今年から30代なのだが，職場ではしばらくの間後輩がいなかったこともあり，自分が先輩として語るというには少々身に余る思いがある．とはいえ，今回の執筆をとおしてちょうど20代までの自身の歩みを振り返る良い機会になった．本稿が会社で働くということに関して，なんらかの参考となってくれれば幸いである．

（原稿受付：2020年10月26日）

トピックス

アメリカでの在外研究生活

著者紹介

西川原（にしかわら）　理仁（まさひと）

豊橋技術科学大学大学大学院
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘１－１
E-mail : nishikawara@me.tut.ac.jp

2015年名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了．2015年豊橋技術科学大学大学院工学研究科機械工学系助教，現在に至る．電気流体力学，多孔体内流れ，相変化を利用した伝熱の研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

2019年６月よりアメリカのマサチューセッツ州にあるウースター工科大学（Worcester Polytechnic Institute, WPI）で在外研究をしている．コロナウイルス，大統領選挙と図らずも大変な時期に来てしまったが，執筆現在までの滞在，生活，研究について記す． この記事が少しでも海外での研究を検討している方の役に立つことができれば幸いである．

2. 大学，研究室，研究内容について

WPIは私立で理工系に特化しており，創立は1865年と歴史ある大学である．ロケット研究のゴダード博士を卒業生にもつ．９月に授業が始まり，５月に終わる．ターム制であり，７週間で構成される１タームが５月まで４タームあり，それぞれのターム間に１週間程度の休みがある．大学のマスコットであるヤギのGompeiは昔，卒業生から送られたヤギを当時WPIの学生だった桑田権平という方がお世話をしたことに由来している．現在は日本人学生はほとんど皆無であるが，そういう意味では日本とも縁がある大学である．U.S.Newsによると，全米大学ランキングで66位タイに位置する．学生数は7,000人程度である．授業料は学部生だと年間約$50,000であり，４年間行くと家が建つ値段と聞いたときは信じられなかった．

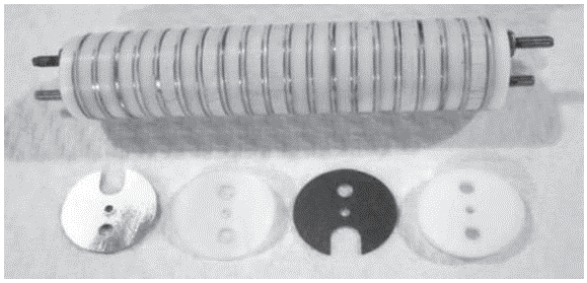
さまざまな年代の子供を対象にした体験プログラムやロボットコンペティション，ホームカミングデー，ファミリーウィークエンドなど一般公開，アウトリーチもしっかり行われており，特に６月に行われるタッチトゥモローというイベントでは，未就学児がお祭りのように大学で楽しんでサイエンスに触れている姿を見て感心した（図１）．また，夏休みにはサマーキャンプがあり，子供の各学年に対応した色んな種類のプログラムが行われており，日本でも理系離れが深刻に叫ばれる中で，このような取り組みは参考にすべきだと感じた．

受入研究者は，電気流体力学（EHD）を長年第一線で研究しているJamal Yagoobi教授である．選んだ理由はYagoobi教授の論文を派遣前からよく読んでおり，論文では見えてこない技術的なノウハウを学びたいと思ったからである．派遣開始の一年前にちょうどボストンで国際会議があり，そこで初めて対面でお話させていただくことができ，承諾をいただいた．Yagoobi教授はWPIの機械工学科の学科長を務めており，また自ら設立したCenter for Advanced Research in Drying（CARD）のセンター長を務めている．CARDは食品やその他の農産物，林業，化学製品，繊維，バイオ医薬品などの湿った多孔質材料の乾燥に関する研究を行っている．特に超音波を使った乾燥についてのプロジェクトが多く見られる．CARDでは企業が出資し，各プロジェクトを担当するPhDの学生はそこから給与をもらう．年に２回，会議がありプロジェクトの進捗を報告し，そこで継続する研究と支援を中止する研究が決まるので，学生は必死である．Yagoobi教授の研究室は主にCARDのプロジェクトを行っているグループと，

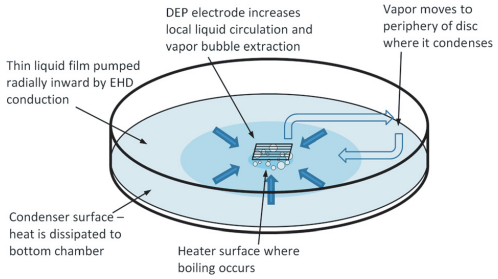
図１　タッチトゥモローでのキャンパスのようす

EHDを使った熱輸送技術に関する研究を行っている２つのグループがあり，私は主に後者に参加している．PhDの学生は８名程度おり，その内半数くらいは海外からの学生である．

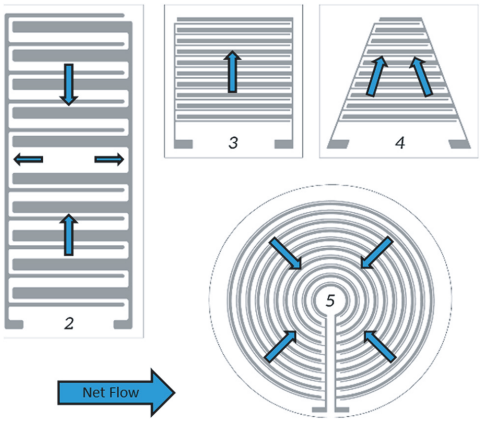
EHDでは，絶縁性流体に高電界を印加して流動を発生させる．マイクロアクチュエータやナノスケールのインクジェットプリンタなどで応用研究がされている．電気力には電荷に働くクーロン力，分極によって発生する誘電泳動力，電歪力があり，ここではクーロン力と誘電泳動力を利用した熱輸送デバイスの開発が行われている．熱輸送デバイスの例を図２に示す．クーロン力を使ってポンプを開発したり流れを制御したりでき，また誘電泳動力を使って気泡の動きを制御したりもできる．電極を設置するだけなのでシンプルであり，振動，騒音などがないのが特長である．無重力下では誘電泳動力は浮力の代わりとして利用できる．NASA ゴダード宇宙飛行センターとも共同研究されており，クーロン力を利用したコンダクションEHDポンプは国際宇宙ステーションでの長期駆動も実証されている．私はコンダクション現象や誘電泳動力を利用した二相熱輸送デバイスについて研究を行っている．



Conduction EHD pump for flow control



Film boiling driven by
conduction EHD pumping and dielectrophoretic force



Conduction EHD pump with flexible substrate

図２　EHDを利用したポンプ，冷却デバイス[1)-3)]

3. 生活について

所属するWPIがあるのはマサチューセッツ州のウースターというボストンから西に１時間くらい車を走らせたところにある．ニューヨークへは車で３時間くらいである．18万人程度の都市に大学が９つもあるので学術都市ともいえる．夏（６月～９月）は暑いと30℃も超える日があるが，夜は涼しいので過ごしやすい．冬は２，３週間に一度大雪で大学や学校が休校になることがある．真冬でも外で半袖で過ごしている現地の人がいるので驚きである．2020年５月は雪が降る日と30℃になる日とがあり，例年にない月だった．

企業の海外派遣と異なり，こちらでの生活は日本の大学がサポートしてくれるわけではないので，大学教員，ポスドクは生活の立ち上げをすべて自分で行わなければならない．学内での手続きはもちろん，家探し，携帯の契約，社会保障番号（SSN）の取得，銀行口座の開設，車探し，免許取得など渡米して初めの１か月は忙しく生活の立ち上げでほとんど潰れる．私は子供も同行しているので，幼稚園探しも時間がかかった．研究室の先生や秘書，学生がいろいろと教えてくれたので助かった．慣れない文化で戸惑ったり，担当者にたどり着くまでにたらい回しにされてイライラすることも多いが，新しい環境はすべてが新鮮で，スーパーで買い物することさえ楽しかった．

アメリカの物価は高い．だいたい日本の1.5倍程度である．家賃は州にもよると思われるが，私の住んでいるウースターでは２ Bedroomで$2,000弱かかる．ボストン付近であればもっと高くなるだろう．医療保険も家族４人で毎月$1,000以上は必要である．アメリカの医療費は想像以上に高いので，医療保険も高くなるのだろう．ポスドクの給与で子供がいると家計はかなり厳しくなると思われる．こちらのプリスクールなどに通わせるのはおそらく無理だろう．食に関しては，アジア系のスーパーやアマゾンで日本にある食材のほとんどが手に入るので困らない．

年間のイベントに関しては，私は６月に渡米したので，まず独立記念日（7/4）のお祭りがあった．ニューヨークやボストンでは盛大に花火が打ち上げられるが，周辺の各市でもお祝いのお祭りや花火が打ち上げられた．そのほかにも，夏はさまざまなお祭りが周辺で開催されたり，山，海，湖，ファーム

など外でのさまざまなアクティビティが楽しめる．近くのニューハンプシャー州ワシントン山には登山鉄道（Cog Railway）があり，頂上の標高1,900mまで約1,000mの標高差を40分程度で登る（図３）．頂上には気象観測所があり，1934年に当時の地上の世界最大風速231mph（＝103m/s）を記録し，62年間その記録は破られなかった．風速は熱式風速計によって計測され，これはMITの研究所の風洞で試験されたものである．９月に入ると，10月末のハロウィーンに向けてかぼちゃが店頭に並ぶ．ハロウィーンでは各家で飾り付けがなされたり，大学でもイベントが行われ学内も飾り付けがされていた．10月は周辺の広大な山々で紅葉も楽しめる．11月末にはサンクスギビングがあり，各家庭でパーティーが行われる．私の研究室でも教授の家でパーティーが行われ，ターキー料理が振る舞われた．その後はクリスマスの休みに入る．こちらの年末年始の休みは日本と比べて短く，早くも１月２日から仕事がスタートする．

4. コロナウイルス

コロナウイルスに関して，私の周りの状況も述べておこうと思う．３月上旬までは，私のいるマサチューセッツ州ウースターよりまだ日本の方が状況は深刻であったと思うが，いつの間にかアメリカの方が深刻になっていき，２週間くらいの間で状況が一気に変わりステイホーム生活を余儀なくされた．ステイホーム生活が始まっても，街でマスクを着用している人はほとんど見かけなかったが，アメリカ政府がマスク着用を推奨してから一気に街中でマスク姿が広がった．ウースターでは５月中旬に増加数がピークを迎え，多いときは１日100名以上の新規感染者が報告された．18万人程度の都市なので割合で考えたら，日本よりも圧倒的に多い．州によって感染者数はかなり差があるようで，マサチューセッツや周辺の州では比較的落ち着いている方である．

大学では３月下旬よりすべての授業がリモートで行われ，すべての研究室が閉鎖され，教員も含めてキャンパスにアクセスできなくなった．５月の卒論発表もリモートで行われた．大学は経済的にも厳しくなったようで，一部予算は凍結，職員採用の凍結，役員報酬の削減，仕事の時間短縮など，大学の財政を維持するための特別措置が行われた．自主的な早期退職も募られ，私のお世話になっていたESLの先生も退職してしまった．大学の現状，今後に関する情報はWeb上で随時更新され，学長のライブでのアナウンスも頻繁に行われ，正確な情報が学生に届くようになっていた．新入学生のリクルートも積極的に行われ，高い授業料を払っている学生が大学から離れていかないように必死になっていたのではないかと推察する．６月ごろから徐々にキャンパスへのアクセスが許可され，９月からは新学期が開始し学生もキャンパスに戻った．授業は対面とオンラインのハイブリッドで，キャンパスに来るすべての人に対して週１回のPCR検査が義務付けられている．

自身の研究に関しては研究室にアクセスできない期間が３，４か月程度あり，また参加予定であったアメリカでの国際会議はことごとく中止になってしまい非常に残念である．一部はオンライン開催となり，日本からでも簡単に参加できるようになったことは非常に良いと思う．私も時間帯によっては，日本で開催されるオンラインの学会や講演会にアメリカから参加できるようになった．コロナウイルスがもたらした唯一の恩恵ではないかと思う．

図３　ワシントン山登山鉄道

5. 謝　　辞

今回のアメリカ滞在を許可してくださり，学生指導，授業，学内業務において多大なご協力を賜りました柳田秀記先生，横山博史先生をはじめ豊橋技術科学大学関係の教員，職員の皆様に心から感謝を申し上げる．本研究はJSPS海外特別研究員制度の助成を受けたものである．

参考文献

1）O'Connor, N., Castaneda, A.J., Christidis, P., Vayas Tobar, N., Talmor, M., and Yagoobi, J.：Experimental Study of Flexible Electrohydrodynamic Conduction Pumping for Electronics Cooling, Journal of Electronic Packaging, Vol. 142 (2020), pp. 041105-1-6.
2）Patel, V. K., and Yagoobi, J.：Combined dielectrophoretic and electrohydrodynamic conduction pumping for enhancement of liquid film flow boiling, Journal of Heat Transfer, Vol. 139 (2017), pp. 061502-1-9.
3）Talmor, M., Yang, L., Larkin, T.R., Kamat, O.K., Dancy, T.J., and Yagoobi, J.：Flow Distribution Control in Micro-Scale via Electrohydrodynamic Conduction Pumping, Proceeding of 2016 Electrostatics Joint Conference, West Lafayette, USA (2016).

（原稿受付：2020年11月13日）

研究室紹介

宮城教育大学　門田研究室

著者紹介

門田和雄（かどた　かずお）
宮城教育大学教育学部
〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉149
E-mail : kadota@staff.miyakyo-u.ac.jp

2010年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了．東京工業大学附属科学技術高等学校機械システム分野教諭を経て，2015年より宮城教育大学教育学部准教授．2020年より教授．機械技術教育の研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会,日本産業技術教育学会などの会員．博士（工学）．

1. 宮城教育大学について

宮城教育大学は全国に11校ある国立の教育大学のひとつであり，東北地方では唯一の教員養成大学である．学生数は学部・教職大学院を合わせて約1,700人であり，広い視野と高度な専門性をそなえ，実践的な指導力を身につけた教員，また強い使命感と責任感を持ち，豊かな人間力をそなえた教員を養成する大学として，東北地方を中心に毎年数多くの小学校および中学校を中心とした教員を輩出している．

その沿革は，1873年に創設された旧制宮城師範学校や宮城青年師範学校などが1949年に新制東北大学教育学部となり，1965年にここから教員養成系統が分離されて，宮城教育大学が設置された．このような経緯から，仙台市にある青葉山キャンパスは，東北大学の工学部や理学部，農学部などに隣接している．市営地下鉄の仙台駅から最寄りの青葉山駅までは約９分である．

著者の所属する技術教育講座では，中学校技術科の教員養成を中心として，高等学校工業科および小学校の教員免許を取得する授業などを担当している．著者の主な担当授業科目は，機械技術入門および機械技術実験実習，金属加工入門および金属加工実験実習などの機械系専門科目，そして中学校技術科に関連する技術科教育実践指導法および高校工業科に関連する工業科教育法などの教職科目などである．

2. 研究室の紹介

門田研究室は2015年に発足した．３年生の後期から毎年４～６名の学生が配属され，４年次の卒業研究を中心とした活動に取り組んでいる．ゼミは毎週１回開催され，研究の進捗状況を報告し合う．卒業研究は学内での発表だけでなく，毎年８月下旬に開催される日本産業技術教育学会の全国大会および11月～ 12月に開催される同学会の東北支部大会での口頭発表を必須としている．

2021年度より本格実施される中学校学習指導要領では，中学校技術科の内容は，「材料と加工の技術」，「生物育成の技術」，「エネルギー変換の技術」，「情報の技術」の４つの内容から構成される．研究テーマはこれらに関する教材開発が多いが，幅広く「機械技術教育」としているため，高等学校工業科での活用を想定したロボット開発，3Dプリンタやレーザー加工機などの教育利用に関する内容，近年，世界中で注目されているScience（科学），Technology（技術），Engineering（工学），Mathematics（数学）の頭文字をとってSTEM教育やこれにArt（芸術）を加えたSTEAM教育に関する内容など，幅広い．

3. 研 究 内 容

3.1　中学校技術科の流体教材研究

中学校技術科の機械に関する内容は従来，歯車やリンク機構などのメカニズムに関する内容や機械の保守点検に関する内容が中心であった．2021年度より本格実施される新学習指導要領では，これらに加えて，「機械に関わる運動，熱および流体の特性等のエネルギー変換についての原理・法則を扱う」となり，熱および流体の特性という文言が加わった．これはフルードパワーにも関係する内容であるため，シリンジを活用した流体教材開発に取り組んだ．

流体に関する原理・法則としては，パスカルの原理を取り上げて，図１に示す断面積の異なる１組のシリンジで力と断面積に関する実験を行うなどした．このシリンジを活用して，手動で空き缶やペットボトルをつかむロボットアームを設計・製作するとい

う指導計画を立て，大学生向けのワークショップや現職の教員向け研修会などで実践を行った．はじめに段ボールや針金などを使用して，シリンジの往復運動をロボットアームの「つかむ」「持ち上げる」動きに変換するためのプロトタイプを製作する．製作中のロボットアームを図２に示す．

図１　断面積の異なる１組のシリンジ

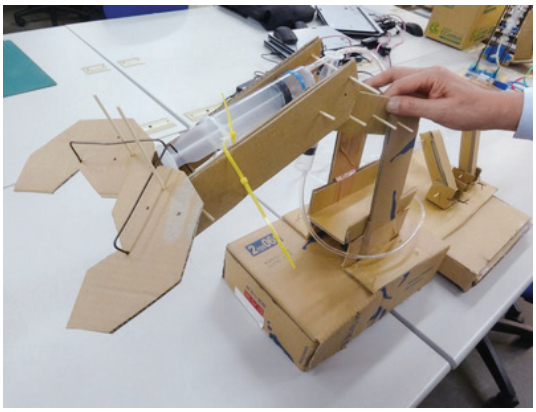


図２　製作中のロボットアーム

プロトタイプを製作したのち，3D CADでデジタルデータを作成し，3Dプリンタやレーザー加工機のデジタル工作機械を使用して，最終モデルを作成する．また，シリンジ内に空気ではなく水を入れるとより大きな力を取り出せることから，それも試してみる．さらにサラダ油を入れるとより大きな力を取り出せると思われたが，途中でシリンジとチューブの接続部分が外れてしまい，サラダ油が飛び散ってしまった．この部分を補強しておかないと，サラダ油の使用は危険である．これらにより，空気圧・水圧・油圧の性質を学ぶことができる．

デジタル工作機械を活用して製作したロボットアームを図３に示す．このロボットアームには４組のシリンジを使用しており，シリンジ内の水を４色に着色して操縦しやすくした．４種類のレバーを実際に操縦することで，缶やペットボトルをつかんで運ぶことができる．

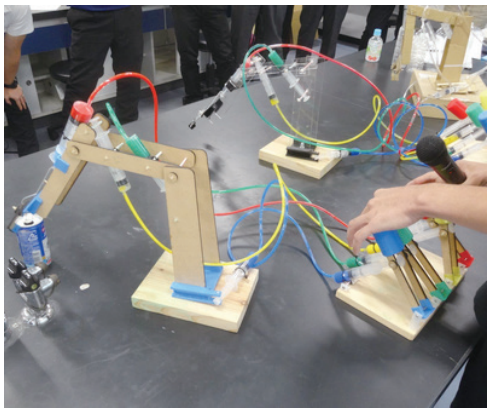


図３　デジタル工作機械を活用して製作したロボットアーム

この間の研究は，中学校技術科「エネルギー変換の技術」における水圧駆動モデルの活用[1]，というタイトルで，日本産業技術教育学会誌に掲載された．

今後も中学校技術科における流体教材開発に取り組んでいきたいと考えている．

3.2　3Dプリンタの教育利用

2011年ごろから，マサチューセッツ工科大学の授業から世界中に広がった，ものづくりの市民工房であるファブラボに興味をもち，2012年から世界ファブラボ代表者会議に５年連続で参加した．2013年に横浜で開催された国際会議の期間中に横浜市の関内地区にファブラボ関内を立ち上げた．これらの解説は本学会誌にも掲載させていただいた[2]．

ファブラボでは3Dプリンタやレーザー加工機などのデジタル工作機械を活用しており，現在はそれらの教育利用に関する研究にも取り組んでいる．諸外国では多くの小中学校に3Dプリンタが導入されており，STEM教育の推進にも役立てられているが，日本では導入が遅れている．その普及のためには，

図４　3Dプリンタと著者が執筆した入門書

学生への教育はもちろん，現職教員への研修も必要であると考えており，毎年何度か学内外で講習会を開催している．この間，3Dプリンタの入門書も執筆した[3]．10年前は40万円ほどした熱溶解方式の3Dプリンタは低価格化が進み，現在では図４に示すものを３万円程度で購入できる．近年ではより高精度に造形できる光造形方式の低価格化も進んでいる．研究室には10台ほどの3Dプリンタがあり，その教育利用に関する研究だけでなく，工作機械の一つとしてロボット教材の開発などに活用している．

3.3　ロボット開発

ロボット開発に関する研究は，中学校技術科や高校工業科の教材研究に関するものと音声認識や画像認識などを取り入れた案内ロボットがある．

中学校技術科におけるプロジェクト型問題解決向けRCカー教材を図５に示す．これは3D CADを使用して設計・製作を行なったのち，3Dプリンタで出力した．アームやショベルの形状を工夫することで，さまざまな問題解決が可能となる．制御には小型マイコンボードの micro：bitを使用しており，２台で通信をしながらジョイスティックでの手動操縦とプログラミングを学びながらの自動操縦ができる．

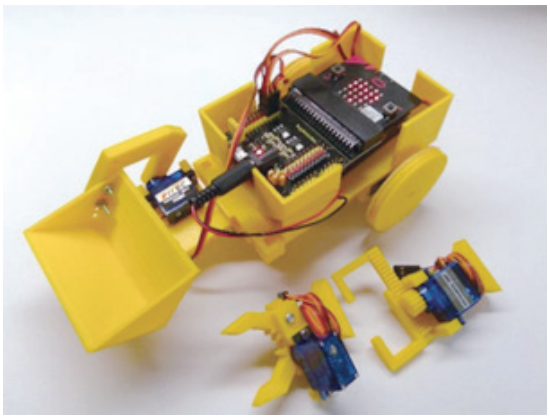


図５　3Dプリンタで製作したRCカー

図６　案内ロボット

工業高校での勤務時から継続して取り組んでいるシングルボードコンピュータのRaspberry Piを活用した案内ロボットの研究は，近年の音声認識や画像認識などの技術の進歩とともに発展してきた．最近は大学図書館にて本のジャンルを音声入力することで棚の位置を音声で伝える案内ロボット，現在は図６に示すような，大学内において研究室などを案内するロボットを開発中である．アルコール噴霧器と合わせて，コロナ対策の案内ロボットなどへ発展させることも検討している．

4. おわりに

門田研究室で取り組んでいる研究内容を中心として紹介してきた．この他に力を入れていることとして，海外の学校訪問調査がある．これまでに台湾や香港，澳門，韓国など，アジア各国の小学校，中学校，高等学校などにおける技術教育およびSTEM教育を見学してきた．特に台湾は10回訪問して，調査研究を論文にまとめることもできた[4]．諸外国の教育実践に学ぶことは数多いため，今後も継続して訪問調査したいと考えている．

著者がフルードパワーの世界に関わるようになったのは，2007年に東京工業大学の香川・川嶋研究室に社会人として大学院博士課程に入学させていただいたときからである．当時は空気圧ゴム人工筋を活用したパワーアシストロボットの開発に従事しており，後に大学へ異動できたのもここで博士（工学）の学位を取得できたことが大きい．現在はフルードパワーに関する工学的な研究には直接的には従事していないが，フルードパワー研究を通して学んだことを生かして，機械技術教育に取り組む研究室の運営に取り組んでいきたいと考えている．

今回，このような研究室紹介の場を設けていただき，改めて心から感謝を申し上げる．

参考文献

1）門田和雄，大友健司：中学校技術科「エネルギー変換の技術」における水圧駆動モデルの活用，日本産業技術教育学会誌，第61巻，第4号，pp. 261-268,（2019）
2）門田和雄：ファブラボの活動とその広がり，日本フルードパワーシステム学会誌，Vol. 45，No. 6，p. 262-264（2014）
3）門田和雄：門田先生の3Dプリンタ入門，講談社ブルーバックス，（2015）
4）門田和雄，STEM教育を重視した台湾北部の自造者教育，日本STEM教育学会誌, Vol. 2, pp. 33-40, 2020

（原稿受付：2020年10月５日）

会　告

〈理事会・委員会日程〉

11月 9日	理事会
12月15日	編集委員会
12月17日	情報システム委員会

〈理事会報告〉

2020年度第３回理事会

11月9日　15：00～17：00

Web開催　（参加者21名）

⑴ 国際シンポジウム函館2020の開催準備状況
⑵ 学会創立50周年記念事業について
⑶ 2020年秋季フルードパワーシステム講演会開催準備状況
⑷ 2020年度学会賞・フェロー推薦受付状況
⑸ 会員の推移
⑹ 各委員会からの報告
⑺ その他

〈委員会報告〉

2020年度第４回編集委員会

12月15日　15：00～17：00

Web開催　（参加者15名）

⑴ 会誌特集号の現状と企画
　1）Vol.52 No.1「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」
　2）Vol.52 No.2「再生可能エネルギーに関するフルードパワー（仮）」
　3）Vol.52 No.3「超大型機械を支える油圧技術」
　4）Vol.52 No.4「スポーツ分野における流体力低減技術（仮）」
　5）Vol.52 No.E1 緑陰特集号
⑵ その他
　1）会議報告
　2）トピックスについて
　3）今後の特集について

2020年度第３回情報システム委員会

12月17日　15：00～17：00

Web開催　（参加者７名）

⑴ 学会HPの更新状況
⑵ 事務局のテレワーク環境整備について
⑶ 会議報告
⑷ その他

会　告　詳細は学会ホームページ（http:www.jfps.jp/）をご覧ください

2020年度ウィンターセミナー
「フルードパワーシステムにおける解析技術」
開催日時：2021年3月10日(水)　13：00～17：00

フルードパワー機器の設計開発，トラブルの原因特定や解決にシミュレーションは必要不可欠な技術です．本セミナーでは，解析業務に従事されている，あるいは解析技術の導入を検討されているフルードパワー技術者・研究者に役立つ解析技術について講師の方々にご紹介いただきます．

本セミナーはオンラインでの開催を予定しております（※会場での開催はございません）．詳細は学会ホームページに随時掲載いたします．皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております．

会　報

「名誉会員　高橋浩爾氏の逝去を悼む」

（2020年９月７日ご逝去）

ご略歴

1932年11月22日生
1955年　大阪大学工学部機械工学科卒業
1955年　倉敷レイヨン株式会社
1962年　上智大学講師
1964年　上智大学助教授
1970年　工学博士（大阪大学）
1974年　上智大学教授
1975年　上智大学電子計算機室長
1980年　上智大学理工学部機械工学科長
1982年　上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻主任
1987年　上智大学名誉教授

1988年～1992年　㈳日本油空圧学会副会長
1992年～1994年　㈳日本油空圧学会会長
1998年～　㈳日本油空圧学会名誉会員

本学会元会長　上智大学名誉教授　高橋浩爾先生は，去る９月７日膵臓がんのため，87歳にてご逝去されました．

先生は1962年に，上智大学に着任されて以来，長きにわたり，流体工学，特に油圧工学に関する先駆的研究を数多くされました．なかでもポペット弁をはじめとする流量制御弁の特性の解明，流線座標を用いた弁など油圧機器内の流れの解析さらに油圧駆動システムの動特性解析へのボンドグラフの応用，適応制御理論の油圧システムへの応用など，流体制御工学および技術に大きく貢献されました．

先生は，本学会の設立当初から学会の運営にかかわられ，国際化にも大きな貢献をなさいました．アーヘン工科大学，バース大学に客員教授として滞在され，交流を深められました．また，1980年代から，中国の大学との交流に取り組まれ，６名の工学博士誕生に尽力されたほか，多くの研究者，学生を受け入れ，中国各地の研究者との交流を広められました．また，1988年の本学会の第１回油空圧国際シンポジウム開催に際しては組織委員会の幹事を，1993年の第２回シンポジウムでは組織委員長を務められ，現在まで続いている本学会の国際シンポジウムの基礎を築かれました．

もうひとつのご功績は，油空圧分野の規格制定にご尽力されたことです．長年，JISやISO規格制定にかかわられたことに対して，1993年に通商産業大臣表彰，2000年秋の叙勲で藍綬褒章を受章されておられます．

ここに高橋浩爾先生のフルードパワー工学ならびに本学会に対する長年にわたる多大なご貢献に対して深く感謝申し上げますとともに，ご冥福を心からお祈り申し上げます．

会長　眞田　一志（横浜国立大学）

会　告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

日本機械学会 関西支部　第372回講習会「事例に学ぶ流体関連振動」
主　　催：一般社団法人 日本機械学会　関西支部
開 催 日：2021年1月25日(月)，1月26日(火)
会　　場：オンライン開催
U R L：https://www.kansai.jsme.or.jp/Seminar/kou372.html

Grinding Technology Japan 2020
企　　画：日本工業出版株式会社
開 催 日：2021年3月2日(火)～3月4日(木)
会　　場：幕張メッセ（千葉県千葉市美浜区中瀬2-1）
U R L：https://10times.com/grinding-technology-japan

連続講習会（全4回）「機械―電気の統合モデルによるモデルベース開発」
主　　催：一般社団法人 日本機械学会　交通・物流部門
開 催 日：2021年3月5日(金)，4月5日(月)，5月10日(月)，6月7日(月)
会　　場：オンライン開催
U R L：https://www.jsme.or.jp/event/21-5/

IIP2021 情報・知能・精密機器部門講演会
主　　催：一般社団法人 日本機械学会　情報・知能・精密機器部門
開 催 日：2021年3月8日(月)～3月9日(火)
会　　場：オンライン開催
U R L：https://www.jsme.or.jp/iip/Japanese/Events/Data/2021/IIP2021-annai.html

ロボティクス・メカトロニクス講演会2021 in Osaka（ROBOMECH2021 in Osaka）
主　　催：一般社団法人 日本機械学会　ロボティクス・メカトロニクス部門
開 催 日：2021年6月6日(日)～6月8日(火)
会　　場：大阪南港ATCホール（大阪府大阪市住之江区南港北2-1-10）
U R L：https://robomech.org/2021/

第26回フルードパワー国際見本市（IFPEX2021）
主　　催：フジサンケイビジネスアイ，一般社団法人 日本フルードパワー工業会
開 催 日：2021年10月6日(水)～10月8日(金)
会　　場：東京ビッグサイト 南1，2ホール（東京都江東区有明3-11-1）
U R L：https://www.ifpex.jp/

エコデザイン・プロダクツ＆サービスシンポジウム2021
主　　催：エコデザイン学会連合（幹事団体：特定非営利活動法人　エコデザイン推進機構）
開 催 日：2021年12月1日(水)～12月3日(金)
会　　場：奈良県コンベンションセンター（奈良県奈良市三条大路1-691-1）
U R L：http://www.ecodenet.com/ed2021/index.html

新型コロナウィルスの影響で協賛行事の開催予定が変更になっている場合があります．
各行事の最新情報は，主催者のホームページまたは各行事のURLからご確認ください．

会　告

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 賛助会員一覧表

㈱IHI
アイシン・エィ・ダブリュ㈱
㈱明石合銅
アズビル㈱藤沢テクノセンター
アズビルTACO㈱
㈱アドヴィックス
アネスト岩田㈱
イートン㈱
出光興産㈱
イナバゴム㈱
イハラサイエンス㈱
㈱インターナショナル・
　サーボ・データー
㈱打江精機
SMC㈱
SMC㈱中国
エコ技術研究所㈾
㈱NF1
ENEOS㈱潤滑油カンパニー
㈱荏原製作所
㈱大阪ジャッキ製作所
大瀧ジャッキ㈱
オカダインダストリ㈱
鹿島通商㈱
㈱桂精機製作所
神威産業㈱
川崎重工業㈱精密機械・
　ロボットカンパニー
川崎油工㈱
川重商事㈱
㈱神崎高級工機製作所
キャタピラージャパン㈾
協和シール工業㈱
旭東ダイカスト㈱
㈱クボタ
KYB㈱
KYBエンジニアリング
　アンドサービス㈱
KYB-YS㈱
㈱工苑
甲南電機㈱
㈱古河製作所
㈱コガネイ
コスモ石油ルブリカンツ㈱
㈱小松製作所
㈱小松製作所試験センタ
㈱小松製作所開発本部
㈱小松製作所油機開発センタ
㈱阪上製作所
㈱鷺宮製作所
佐藤金属㈱
三輪精機㈱
三和テッキ㈱
㈱ジェイテクト奈良
㈱ジェイテクト刈谷
CKD㈱
㈱島津製作所
勝美印刷㈱
ジヤトコ㈱
住友建機㈱
住友重機械建機クレーン㈱
住友重機械工業㈱
制御機材㈱
千住金属工業㈱
第一電気㈱
ダイキン工業㈱
ダイキン･ザウアーダンフォス㈱
大生工業㈱
㈱TAIYO
タイヨーインタナショナル㈱
ダイワ㈱
㈱タカコ
㈱タダノ
調和工業㈱
㈱都筑製作所
TMCシステム㈱
東京計器㈱
東京計器パワーシステム㈱
東京メータ㈱
東北特殊鋼㈱
東明工業㈱
東レエンジニアリング㈱
同和発條㈱
特許機器㈱
特許庁
TOHTO㈱
豊興工業㈱
㈱豊田自動織機
長津工業㈱
中西商事㈱
長野計器㈱
中村工機㈱
ナブテスコ㈱
㈱南武
日新濾器工業㈱
日本アキュムレータ㈱
日本機材㈱
日本クエーカー・ケミカル㈱
日本工業出版㈱
日本精器㈱
日本製鉄㈱交通産機品カンパニー
日本電産トーソク㈱
（一社）日本フルードパワー工業会
日本ムーグ㈱
㈱野村商店
㈱ハイダック
日立建機㈱
㈱日立建機ティエラ
㈱日立製作所
廣瀬バルブ工業㈱
フエスト㈱
㈱フクダ
㈱不二越
フジサンケイビジネスアイ
二見屋工業㈱
ボッシュ・レックスロス㈱
昌富工業㈱
マサモト㈱
㈱増田製作所
マックス㈱
松巳鉄工㈱
三國機械工業㈱
三菱電線工業㈱
ヤマシンフイルタ㈱
ヤマハモーターハイドロリック
　システム㈱
㈱山本金属製作所
油研工業㈱
㈱ユーテック
理研精機㈱
リバーフィールド㈱
㈱レンタルのニッケン

会　告 (https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jfps/list/-char/ja)

日本フルードパワーシステム学会論文集51巻（2020）抄録

プリーツ式収縮式超軽量空気圧ソフトアクチュエータの設計
Design of pleats-style contraction type extremely lightweight pneumatic soft actuator

橋本　正博，西岡　康隆，安田　俊彦，山野　光弘
Masahiro HASHIMOTO, Yasutaka NISHIOKA, Toshihiko YASUDA, Mitsuhiro YAMANO

2019年51巻1号 p. 1-8 DOI https://doi.org/10.5739/jfps.51.1

An extremely lightweight pneumatic soft actuator is an actuator made of non-expansion and contraction material such as the plastic film. It can be driven low pressure and has unique characteristic which are flexibility and lightweight. As for contraction type extremely lightweight pneumatic soft actuator by pleats structure, it has the characteristic that up to approximately 40% shrink axially by opening the pleats of air cell surface at the time of pressurization. The purpose of this study is to clarify relationship between the design parameter, contraction force and the shape of pressurized state. Therefore, we produced the actuator which changed the film ratio (the ratio of the film length of the radial direction for the axial direction) or the magnification of the air cell and measured contraction force for air pressure using a force gauge. In addition, we measured the expansion magnitude of the radial direction at the time of the pressurization. It became clear that there was a positive correlation between contraction force and magnification of the air cell, and a negative correlation between contraction force and the film ratio. As for the expansion magnitude of air cell at the time of the pressurization, it was confirmed that the expansion magnitude was close to the calculated value of the model approximated from the design parameters. Finally, we made the graph that showed relationship between contraction force and cross-sectional area in each pressure.

ウェアラブルロボット用空気圧供給システムに用いる容積可変タンクのモデル化
Model of Variable Volume Tank used for Portable Air Supply Sysetm

門脇　惇，佐々木　大輔，萱原　多久実
Jun KADOWAKI, Daisuke SASAKI, Takumi KAYAHARA

2020年51巻1号 p. 9-15 DOI https://doi.org/10.5739/jfps.51.9

Wearable robots are desired to be lightweight from the viewpoint of safety and load reduction, so compressed air source is required to have high portability in order to install it in a wearable robot. The portable air supply system for wearable robot had been developed in previous works. The proposed system constructed with a compressor and a variable volume tank, which has been developed in our previous works, and has a mechanism of recompressing exhausted air. The developed tank can accumulate pneumatic energy converted into elastic energy. In addition, this tank can mitigate pressure change even when inflow or outflow of compressed air. The previous system can decrease energy consumption by the pressure mitigation characteristics of the variable volume tank. However, this tank had been made by trial and error to realize ideal characteristic. In this study, the model of variable volume tank is proposed to design the tank which has ideal deformation and energy characteristics. Moony-Rivlin function is introduced in the proposed model to calculate the deformation of rubber material. The energy characteristic is simulated based on this calculated deformation characteristic. In this paper, the accuracy of the proposed model is verified by comparing it with the characteristics of the variable volume tank manufactured based on the model.

看護動作の支援を目的とした空気圧式コルセットの設計に関する基礎実験
Fundamental experiments on design of a pneumatic corset for supporting nursing behaviour

西岡　靖貴，安田　寿彦，山野　光裕
Yasutaka NISHIOKA, Toshihiko YASUDA, Mitsuhiro YAMANO
2020年51巻2号 p. 17-24　DOI https://doi.org/10.5739/jfps.51.17

Low back pain is often suggested as a problem to be prevented. Focusing on workers, it is difficult to work while avoiding Back pain. For example, in an agriculture area, the burden on the body is large during crop harvesting and loading operations. At the factory, the same is true for the work of transporting heavy objects and the work of keeping the waist. In this study, we focus on nursing behavior. In nursing behavior overburden action is many shown, it is proposed as one of the reasons for having to leave the job. We have been focusing on corsets to reduce back pain and have developed pneumatic corsets that can switch compression force. By switching the compression force, it is possible to eliminate the need for attachment and detachment, and to avoid muscle loss due to continued wearing. In addition, it can be expected to follow the human's movement by air pressure. In conventional researches, effective results have been obtained in myogenic potential evaluation experiments using the basic structure. In this paper, we propose a basic experimental method to evaluate from the viewpoint of both mechanics and subjectivity for the miniaturization of the system for use in the nursing field and the optimization of the corset structure. In this paper, we propose a new corset structure for miniaturization of the system used in the nursing field, and evaluate it experimentally from both viewpoints of mechanics and subjectivity.

製紐機を用いたインダクタンス型スマート人工筋の製作手法の確立
Establishment of fabrication process for smart artificial muscles with the inductance sensor

小川　草太，脇元　修一，神田　岳文，大村　健人，安藤　克倫
Sota KOGAWA, Shuichi WAKIMOTO, Takefumi KANDA, Kento OMURA, Katsunori ANDO
2020年51巻2号 p. 25-31　DOI https://doi.org/10.5739/jfps.51.25

The McKibben artificial muscle, which is one of soft actuators and consists of a rubber tube and a sleeve of reinforcement fibers, has the features of flexibility and lightweight. For increasing the convenience of the McKibben artificial muscle, attaching the sensor function to the artificial muscle is required. However, general rigid sensors hinder the advantage of the McKibben artificial muscle. Therefore, smart artificial muscles integrated with sensors have been developed.

In this paper, we describe the fabrication method of artificial muscles having enameled wires forming coiled-shape and working as both reinforcement fibers for actuation and a displacement sensor. When the artificial muscle is driven, since the shape of the coil changes, the displacement of the artificial muscle can be estimated by measuring the inductance of the coil. The fabrication process of the smart artificial muscles using a braiding machine is proposed. By this fabrication process, it is possible to change the braiding angle of the reinforcement fibers, and both the contraction-type and the extension-type artificial muscles with the sensor function can be manufactured by the same process. In addition, on the contraction-type smart artificial muscle, for increasing the sensor output, magnetic fluid is used as the working fluid.

矩形パルス波制御による磁気粘性流体バルブによる油圧アクチュエータの速度と推力の同時制御

Simultaneous Control of Speed and Thrust of Hydraulic Actuator with Magnetorheological Fluids Valve Using Rectangular Pulse Wave Control

大島　信生，福田　真也，清水　悠平
Nobuo OSHIMA, Masaya FUKUDA, Yuhei SHIMIZU

2020年51巻2号 p. 32-38　DOI https://doi.org/10.5739/jfps.51.32

Magnetorheological fluids (MR Fluids) are suspensions which consist of soft magnetic particles and base liquid. By applying magnetic field, the particles make chain-like structure and rheological properties of the MR fluids show remarkable change. This characteristic is suitable for constructing control devises. In those devices, a MR fluids valve is one of promising devises. Because, the MR fluids valve can be controlled without mechanical mechanism, so the MR fluids valve has excellent reliability. In case of applying the MR fluids valve to controlling a hydraulic actuator, pressure (thrust) control is easy, but speed control is difficult. Because, the MR fluids have Bingham plastic characteristics, so pressure drop due to flow velocity is small compared to that due to yield shear stress. So, a rectangular pulse wave control based on pulse width modulation (PWM) control method taking account of yield shear stress of MR fluids and time constant of MR fluids valve is proposed and simultaneous control of speed and thrust of the hydraulic actuator with MR fluids valve is performed.

会　告

会　員　移　動

会員の種類	正会員	海外会員	学生会員	賛助会員
会員数 （12月10日現在）	883	12	111	128
差引き増減	＋2	±0	＋12	±0

正会員の内訳　名誉員14名・シニア員49名・ジュニア員118名・その他正会員702名

〈新入会員〉

正会員

古賀　裕武（東京計器株式会社）
榊原　大祐（東京計器株式会社）
川崎　聖矢（東京計器株式会社）

学生会員

大永　昂汰（岡山理科大学）
新井　　遼（信州大学）
廣瀬　直紀（九州工業大学）
広田　尚希（神奈川工科大学）
村田　幸史（神奈川工科大学）
川田　　壌（鹿児島大学）
木田　圭祐（奈良工業高等専門学校）
近澤　健太（信州大学）
澤橋龍之介（中央大学）
渡部　敦也（神奈川工科大学）
河口　雄規（鹿児島大学）
岸　浩太郎（鹿児島大学）

編 集 室

次号予告

— 特集「持続可能社会とフルードパワー」—

【巻頭言】「持続可能社会とフルードパワー」の発行にあたって　佐々木大輔
【解　説】
風力発電技術が望むフルードパワー　中村　雅英
波力発電を支えるフルードパワー技術　栗林　直樹
五島海域における潮流発電に関する取り組み　経塚　雄策
上水道を利用した発電技術　大池　真悟
超臨界水を利用した地熱発電技術　浅沼　宏
【会議報告】
FPMC2020におけるフルードパワー関連技術の研究動向　伊藤　和寿
日本機械学会2020年度年次大会におけるフルードパワー関連技術の研究動向　吉田　和弘
IFK2020におけるフルードパワー関連技術の研究動向　清水自由理
【トピックス】
Youは日本をどう思う？第16回：ベトナムから日本に留学して　ダオ・ミンフォン
【研究室紹介】
津山工業高等専門学校　趙　菲菲

2020年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長　柳田秀記（豊橋技術科学大学）
副委員長　山田宏尚（岐阜大学）
委員　飯尾昭一郎（信州大学）
飯田武郎（㈱小松製作所）
伊藤雅則（東京海洋大学）
猪飼暢崇（CKD㈱）
梅村哲郎（KYB㈱）
加藤友規（福岡工業大学）
栗林直樹（川崎重工業㈱）
五嶋裕之（㈱工苑）
齋藤直樹（秋田県立大学）
佐々木大輔（香川大学）
佐藤恭一（横浜国立大学）
委員　妹尾満（SMC㈱）
寺澤達士（油研工業㈱）
中野政身（東北大学）
中山晃（日立建機㈱）
藤田壽憲（東京電機大学）
丸田和弘（㈱小松製作所）
村岡裕之（㈱コガネイ）
山田真の介（㈱TAIYO）
吉満俊拓（神奈川工科大学）
担当理事　伊藤和巳（KYBエンジニアアリングアンドサービス㈱）
学会事務局　成田晋
編集事務局　竹内留美（勝美印刷㈱）
（あいうえお　順）

会　告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写してください．ただし（公社）日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません．したがって，社外頒布用の複写は許諾が必要です．

権利委託先：（一社）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41　乃木坂ビル
TEL：03-3475-5618　FAX：03-3475-5619　E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接本会へご連絡ください．

個人会員各位

２０２１年 １月１５日

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

2021年度会費納入のお願い

拝啓　時下益々ご清祥のこととお慶び申しあげます．

さて，2021年度（2021年４月１日～至2022年３月31日）の会費を，下記の通りご納入賜わりたくお願い申しあげます．なお，すでにご納入くださいました場合は，なにとぞご容赦ください．

敬　具

記

2021年度

正会員会費　8,000円
（40歳未満で入会された方は，入会から5年間にかぎり4,000円となります．）
学生会員会費　2,000円

お　願　い

- 2020年度以前の会費を未納の方は，新年度分（2021年度）とあわせてお振り込みくださいますようお願い申しあげます．
- 会員名を必ずご記入ください．
- 便利な自動振り込みは手数料が不要です．ご希望によりお申し込み書をお送りいたしますので，FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく，よろしくお願い申しあげます．

以上

各票の※印欄は、払込において記載してください。

払　込　取　扱　票

00	東京

口座番号（右詰めにご記入ください）													金額	千	百	十	万	千	百	十	円
0	0	1	1	0	3			1	3	3	6	9	0	※							

加入者名	一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会	料金		特殊取扱	

通信欄	該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。 1.（　　）年度（　　）会費 企業名・会員名・[　　] 2.（　　）の代金

払込人住所氏名	（郵便番号　　） ※ （電話番号　　－　　－　　）	受付局日附印	

裏面の注意事項をお読みください。（郵政事業庁）（私製承認東第23957号）

切り取らないで郵便局にお出しください。

払込票兼受領証

口座番号	0	0	1	1	0	3							
	右詰めにご記入ください												
				1	3	3	6	9	0				
加入者名	一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会												
金額	千	百	十	万	千	百	十	円					
	※												
払込人住所氏名	※												
料金	（消費税込み）　円												
特殊取扱													

受付局日附印

記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。

お振り込み先金融機関一覧

1．郵便振替貯金　　００１１０－３－１３３６９０

＊下の振替用紙をご利用いただけます．
（なお，この振替用紙は会費納入・資料購入・セミナー等受講料など総てにご利用いただけます．）

2．三井住友銀行　日比谷支店（普）　７６１１４１７

（注）＊口座名はいずれも「シャ）ニホンフルードパワーシステムガッカイ」です．
＊誠にお恐れ入りますが，振り込み手数料はご負担くださいますようお願い申しあげます．
＊上記２をご利用の方で，会社名・大学名にてご送金の方は，個人名・内容・振込金融機関名を，FAXまたはE-mailで学会宛にご連絡くださいますよう，お願い申しあげます．

FAX：03-3433-8442
E-mail：info@jfps.jp

この受領証は、郵便局で機械処理をした場合は郵便振替の払込みの証拠となるものですから大切に保存してください。

ご注意
この払込書は、機械で処理しますので、口座番号及び金額を記入する際は、枠内に丁寧に記入してください。
また、下部の欄（表面及び裏面）を汚したり、本票を折り曲げたりしないでください。
（日本郵政公社）

フルードパワーシステム Vol. 52 No. 1

昭和47年10月19日第４種学術刊行物認可
2021年１月15日発行　　（奇数月）

〒105―0011
東京都港区芝公園三丁目五―二二　機械振興会館別館一〇二　電話（〇三）三四三三―八四四一　ＦＡＸ（〇三）三四三三―八四二一
編集兼発行人　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　振替口座　東京〇〇一一〇―三―一三三六九〇
印刷所　勝美印刷株式会社　東京都文京区白山一―一三―七　アクア白山ビル五階

本紙広告取扱　株式会社 産業企画　東京都港区新橋6-22-2 佐藤ビル　〒105-0004
TEL. 03-3437-0057　FAX. 03-3437-9868　www.sanki.asia　E-mail　sanki@sanki.asia