

国際水・蒸気性質協会（IAPWS）年会2022報告

(Report on IAPWS Annual Meeting 2022)

吉田 健^{*1,*3}・泰岡 顕治^{*2,*3}

(K. Yoshida)

(K. Yasuoka)

1. はじめに

1.1 会議の概要

2022年11月27日から12月2日にかけて、国際水・蒸気性質協会（International Association for the Properties of Water and Steam, 略称 IAPWS）の第53回年会がニュージーランド、ロトルア市のノホテル ロトルア レイクサイドホテルで開催された。ホテル名のとおり、ロトルア湖を望む景色が参加者を迎えてくれた（写真1）。コロナ禍に見舞われた2020年と2021年の年会はオンライン開催であったため、対面での年会開催は2019年にカナダのバンフ市で開催された第50回年会以来であった。

IAPWSの年会は通例、理事会、専門委員会（単独または合同）、シンポジウムから構成される。会議は月曜から金曜にかけて開催される。月曜の午前に月曜理事会が開かれ、議題（アジェンダ）が提示・承認される。月曜午後と火曜、木曜に専門委員会に分かれての協議がなされる。水曜にはシンポジウムが開催される。IAPWS年会の本登録者（週を通しての参加者）のみならず公開の形で開催、すなわちシンポジウムの1日だけの参加登録をできるようにする場合が多い。シンポジウムでは



写真1 会場に隣接する War Memorial Park（戦争記念公園）からのロトルア湖の眺望

開催国ならではの依頼講演・招待講演が企画される。今回のロトルアでの会議では、水曜のシンポジウムに加え、木曜にもワークショップとして特別企画の公開講演会が開催された。シンポジウムでは地熱について、ワークショップでは電極ボイラについての企画があった。内容については4.1節と4.2節でそれぞれ紹介する。

参加登録者数（本登録のみ、同伴者除く）は44名で、参加国数は13であった。国別では以下の通りである：ニュージーランド12名、日本8名、米国6名、カナダ5名、オーストラリア3名、チェコ共和国2名、ドイツ2名、デンマーク1名、フィンランド1名、イタリア1名、スウェーデン1名、スイス1名、英国1名。シンポジウムまたはワークショップのみの参加者は72名で、国別ではニュージーランド68名、オーストラリア2名、オランダ1名、タイ1名であった。

1.2 IAPWSについて

ここで、2022年の年会の報告の詳細に入るまえに、国際組織IAPWSについて概要を簡単に紹介したい。IAPWSは、水と蒸気の物性、特に熱力学的な物性値、パワーサイクル化学の国際指針、および火力発電サイクルやその他の産業・科学用途に関連する高温の蒸気、水、水溶液、水混合系のさまざまな側面に関する国際非営利団体である。IAPWSが設立された1929年以来、学界の研究者・科学者と産業界の技術者をつなぐ場として年会が開催されてきた。水・蒸気・水溶液の各種の物性値（たとえば、状態方程式、熱伝導率、粘性係数、誘電率、pH値、等々）を精査したうえで提唱することは、IAPWSの重要な活動の一つである。近年は量子化学計算、分子動力学シミュレーション、プロセスシミュレーションなどの計算科学による研究報告や議論も活発に行われている。火力発電、原子力発電、その他の産業用途の蒸気発生器におけるパワーサイクル化学について、専門家の国際的

*1徳島大学（Tokushima University）

*2慶應義塾大学（Keio University）

*3日本水・蒸気性質協会（The Japan Association for the Properties of Water and Steam）

な合意によって得られる技術手引書 (IAPWS Technical Guidance, 略称 TGD) を提供することは, IAPWS の活動のなかでも近年重要性を増している。その他の応用分野としては, 地熱蒸気, 電極ボイラ, 化学・冶金プロセスにおける高温水や超臨界蒸気の利用, 熱水地球化学, 海洋学, 地球気候モデリング, CO₂回収・貯蔵システムを備えたパワーサイクル, 熱電併給システムなどが挙げられる。各種物性の推奨値 (リリース, ガイドライン) ならびに TGD は IAPWS のウェブサイト (www.iapws.org) で無償公開されている。

IAPWS は加盟国と準加盟国から構成される。現在の加盟国は, オーストラリア, イギリス・アイルランド, カナダ, チェコ共和国, ドイツ・スイス, 日本, ニュージーランド, ロシア, スカンジナビア (デンマーク, フィンランド, ノルウェー, スウェーデン), 米国で, 準加盟国はアルゼンチン・ブラジル, 中国, エジプト, フランス, ギリシャ, インド, イタリアである。ただし, ロシアについては, ウクライナに対する侵略行為のため, 本稿執筆時点では加盟資格が停止されている。日本の国内委員会は日本水・蒸気性質協会 (Japan Association for the Properties of Water and Steam, 略称 JPAPWS) が兼ねる。

科学的・技術的な協議や研究報告, 意見交換などは, 4つの専門委員会と1つの準専門委員会に分かれて議論される。委員会の名称は以下の通りである。

- (1) 「熱物性専門委員会 (WG-TPWS, Working Group on the Thermophysical Properties of Water and Steam)」
- (2) 「産業界のニーズ・解決専門委員会 (WG-IRS, Working Group on the Industrial Requirements and Solutions)」
- (3) 「海水に関する準専門委員会 (SCSW, Subcommittee on Seawater)」
- (4) 「水溶液系の物理化学専門委員会 (WG-PCAS, Working Group on the Physical Chemistry of Aqueous Systems)」
- (5) 「発電サイクル化学専門委員会 (WG-PCC, Working Group on the Power Cycle Chemistry)」

近年は分野横断的な話題が産学双方の観点から議論されることも多く, 複数の専門委員会による合同会議で扱われる。各専門委員会の協議事項については, つぎの2章で述べる。

2. 専門委員会

2.1 TPWS

熱物性専門委員会 TPWS (Thermophysical Properties of Water and Steam Working Group) の最も重要な活動のひとつとして, IAPWS-95として知られる水と蒸気の状態方程式の更新に関するプロジェクトについて議論がなされた。この議論は数年前から開始されており, IAPWS-95発行から30年近く経つことから, その間に進歩した関連分野の成果を取り込んだ国際標準の改定について検討が進められている。具体的には, 実験 (音速測定など) と分子理論計算から得られた新しいデータと, 1995年以降に進歩した状態方程式の開発技術の活用が予定されている。状態方程式が準安定状態においてより正しく振る舞うことも求められており, 国内では粥川洋平博士 (産総研, JPAPWS 幹事) らが新規な実験による検討を進めている⁽¹⁾。

PROMETH20プロジェクト (www.prometh20.eu) についての報告があった。プロジェクトの目的は, エネルギーシステムや半導体プロセスなどの応用で, 超高純度プロセスガス中の微量水分を測定するための計量技術を開発することである。水分量は気相中におおよそ 5ppb から 5ppm の範囲を対象とし, 露点温度としては -105°C から -65°C の範囲にあたる。推奨事項として IAPWS ガイドラインに組み込まれる可能性が議論された。

2.2 IRS

産業界のニーズ・解決専門委員会 IRS (Working Group on the Industrial Requirements and Solutions) は 沖田信雄氏 (東芝エネルギーシステムズ, JPAPWS 副会長・動力プラントの基盤技術分科会主査) が委員長を務める。年会で議論された主なテーマは, 産業界のニーズとカテゴリ, 湿り蒸気計算の物性値の検討, HRSG 出口における硫酸露点の推定に関する新しいモデル, 既存の IRS の範囲を拡張する新しいトピックなどであった。IRS はこれらについて他の専門委員会との合同会議でも協議を進めた。内容は白書 (White Paper, TGD の素案として位置付けられる) または他の IAPWS ドキュメントの形に文書化される予定である。また, 水素燃焼, 航空に関連する雲のミクロ・マクロ物性などの魅力的で新しいトピックについても, ASME と協力して評価・議論することを検討する予定である。

2.3 PCAS

水溶液系の物理化学専門委員会PCAS (Working Group on the Physical Chemistry of Aqueous Systems) には、日本からは中原勝名誉教授(京大、IAPWS会長)、松林伸幸教授(大阪大、JPAPWS副会長)、吉田(PCAS委員長、JPAPWS幹事)の3名が参加した。松林教授は、PCCとの合同会議では電気伝導度のMD-DFTアプローチ⁽²⁾について、TPWSとの合同会議では結晶成長過程の全原子MD解析⁽³⁾について、計2件の発表を行った。そのほか、皮膜形成アミンの構造と膜形成機構、水の電離定数などについて議論した。水の自己拡散に関するIAPWSガイドラインの作成が進行中であり、今後も継続する予定である。

2.4 PCC

発電サイクル化学専門委員会PCC (Working Group on the Power Cycle Chemistry) は、過去2年間に延期された様々なプロジェクトの再開に焦点を当て、非常に充実したミーティングを開催した。特に、皮膜形成物質(FFS)の分野では、PCCとPCASが合同で議論し、FFSに関する情報が不足している分野や、今後の研究・調査が必要な分野を特定することに重点が置かれた。FFSに関するIAPWS認定研究ニーズ(ICRN)は素案の作成が進められている。腐食生成物のサンプリングとボイラ腐食に関する活発な国際協力プロジェクトの進捗状況が報告され、排ガス凝縮水回収に関するTGD案が提示された。2023年の承認に向け回覧される予定である。

ニュージーランド国内委員会NZAPWSはJPAPWSと共に、PCC/IRSの地熱蒸気純度に関する白書の検討の進捗について最新の状況を発表し、2023年の承認に向けてTGDドラフトとして完成させる予定であると発表した。

市原太郎博士(三菱重工パワーインダストリー)からは、発電ボイラの水素侵食に関して、損傷選択性と損傷条件の検討についての報告があった⁽⁴⁾。損傷管の溶接補修と水素侵食の関係性について、PCCメンバーと活発な議論があり、追加研究の提案がなされた。

寺田慎一氏(東芝エネルギーシステムズ、JPAPWS運営委員・パワーサイクル化学分科会主査)からは、地熱用蒸気タービンの要求蒸気純度に関する基準の改善提案に関する講演があった。純度と運転コストのバランスに着目して、腐食生成物、スケールと浸食や腐食の可能

性を防ぐための純度の制限値を見直すべきとの概要を述べた。

TGDについて、今後、最新の技術を反映させて定期的(3年程度の間隔)で更新を行うことが提議され、大筋の方向性についての議論がなされた。今後、PCC国際委員の間での意向調査を経てから具体的な行動計画が協議される予定である。

放射線分解データベースの共同研究についての協議もなされた。提案者はPam Yakabuskie博士(カナダ原子力研究所)で、同氏は放射線分解プロセスのモデル化に必要な反応速度定数を一元化・更新して管理する場所が必要であると述べた。以前はノートルダム大学がデータベースを管理し、後にNISTに移ったが、アクセスが難しいうえに1995年以来更新もされておらず、NISTの放射線分解の反応速度論のデータベースの情報の更新が必要か、もしくは新しいプラットフォームが必要な状況にある。PCCではPCASとの共同研究の必要性が協議され、PCASは副委員長のHugues Arcis博士(国立原子力研究所・英国)を中心に応じる予定である。

3. 理事会

12月2日(金)に開催された理事会では、上記のすべての専門委員会の活動、委員会の新委員長について検討し、承認した。また理事会は、新たに2名のIAPWS名誉員を承認した。受賞理由は、Rich Pawlowicz氏(カナダ)については「IAPWS海水に関する準専門委員会およびIAPSO/SCOR/IAPWS海水物性合同委員会の優れたリーダーシップ、BIPMとの協力の促進など」、Frank-Udo Leidich氏(ドイツ)については「発電サイクル化学専門委員会において副委員長を務めるなど長期に亘りリーダーシップをとり、TGDの開発に参加し、また産業界でのTGDの普及促進を行ったことなど」であった。

4. シンポジウムとワークショップ

4.1 IAPWSシンポジウム

2022年のIAPWSシンポジウムは、ニュージーランド政府の設立するクラウン研究所傘下である地質科学研究所(Geological and Nuclear Sciences, GNS)の研究プロジェクト“Geothermal, The Next Generation”との共催として開催された。近年発展の目覚ましい超臨界蒸気化学の分野とその応用の可能性が主題であった。ニュー

ジーランドを中心とする地熱研究者とIAPWSメンバーが集まり、活発な議論があった。シンポジウムの表題は“Supercritical and Subcritical Geothermal Steam Chemistry” (超臨界および亜臨界地熱蒸気化学) である。11月30日 (水) に開催され、65名の参加者があった。

冒頭に、中原IAPWS会長から開会の挨拶があった。ニュージーランド現地の主催者やIAPWS役員に対する感謝の言葉に続き、水・蒸気や原子力の利用における安全性と効率、脱炭素など近年の課題に触れ、それらの重要課題に対してIAPWSの果たすことのできる役割が述べられた。最近の分子科学・計算科学の画期的な進展と水・蒸気の技術者との交流・協力の重要性について強調がなされた。

IAPWSシンポジウムでは、IAPWSヘルムホルツ賞の受賞講演も行われる。IAPWSヘルムホルツ賞とは、IAPWSの活動に関連する分野で活躍する若手研究者に贈られる賞である。受賞者はIAPWS年会に招待される。2022年のヘルムホルツ賞は、米国ペンシルベニア大学化学・生体分子工学部准教授のAmish Patel博士が受賞した(写真2)。受賞題目は「疎水性、タンパク質水和、複雑な表面の溶媒和に関する基礎的理解、および生物由来の材料の設計への応用に対する理論的・計算的貢献」である。Patel博士は、「ナノスケール不均一性を持つ表面が水の構造を乱すには」と題して超疎水表面の分子力学モデリングを解説する講演を行った。



写真2 中原IAPWS会長からヘルムホルツ賞受賞記念の盾を贈呈されるPatel博士

続いて基調講演として、Mercury Energy社のChief ExecutiveのVince Hawksworth氏から「ニュージーランドのエネルギーと地熱の未来：可能性と課題」と題する講演があった。ニュージーランドでは2030年までに再生可能エネルギーによって98%の電力を賄う見込

みであることが示された。太陽光および風力発電による電力供給が次の30年で増大傾向にある中で、地熱発電に関わる電力会社の役割が解説されるとともに、地熱発電がさらに重要な役割を果たすためにはIAPWSで行われるような活動が重要であると述べられた。

GNS ScienceのBruce Mountain博士からは、研究設備と研究内容の紹介があった。地球化学的条件での水と岩石の相互作用の研究紹介があり、特に商業利用につながる高温高压下での実験に注力していることが強調された。同じくGNS ScienceのPeter Rendel博士からは、地熱発電に重要な高温高压下 (375℃~600℃, 200~270bar) での石英の溶解度の精密測定について報告があった⁽⁵⁾。

David Addison氏 (Thermal Chemistry Limited) からは地熱蒸気のサンプリングとオンライン分析の干渉物除去に関する講演があった。Ian Richardson氏 (Contact Energy) からは、地熱発電所から排出される非凝縮ガスの地下還元システムの実機での検証状況の報告があった。Addison氏とRichardson氏はともに、2.4節で述べた地熱発電白書作成に向けてのJPAPWS/NZAPWS合同会議においてニュージーランド側で中心的な役割を果たしている。

4.2 ワークショップ

12月1日 (木)、NZAPWSワークショップ“Future of Industrial Steam in New Zealand” (ニュージーランドの産業蒸気の将来) が開催された。IAPWS年会参加者に加え、ニュージーランド国内からも、エンジニア、化学者、蒸気設備のユーザー、機器サプライヤーなど、110名を超える参加者があり、大いに盛況であった(写真3)。新しい電気ボイラシステム、バイオマスボイラシステム、皮膜形成物質が腐食を軽減するメカニズムの理解などに焦点を当てたプレゼンテーションが行われた。

ワークショップの特集のひとつに、電気ボイラ (電極ボイラ) のセッションがあった。静かでクリーン、起動が速いなどのメリットがあり、再生可能電力のさらなる増加を見越した動きとして日本国外では積極的な検討や導入が進められている状況が見て取れた。David Addison氏の講演では、電気ボイラの概説と、ニュージーランドでの試験研究や導入が進められている最新の動向や、その中で見出されてきた課題などの紹介があった。Orsted社のMonika Nielsen氏からは、同社の電



写真3 (上) ワークショップ冒頭でのDavid Addison氏の挨拶, (下) ワークショップの出席者 (IAPWSプレスリリースより転載)。

気ボイラに関する取り組みと運用実績の紹介があった。トラブル事例4件について、データを示しながら原因調査の過程や見出された解決法などの具体的な紹介があった。電極ボイラ特有の課題として、Alan Beuzenberg氏 (Synleit, New Zealand) の講演 (Addison氏が代理発表) では、溶存水素 (DH) と溶存酸素 (DO) の増加が紹介された。DHとDOの増加が相関するため、アーク放電による水の分解が示唆されるものの、量論比が合わないなど未知の課題があることが紹介・議論された。その他には、ニュージーランド国内での羊毛や乳製品産業への電気ボイラの利用状況と課題が紹介された。

IAPWSおよび関連する国際会議などでは、近年皮膜形成アミン/皮膜形成物質 (FFA/FFS) に高い関心が集まる⁽⁶⁾。今回のワークショップにおいても、FFA/FFSがテーマの一つとして取り上げられた。吉田からは、本誌でも昨年報告したFFA皮膜の形成機構と構造に関する研究成果^{(7),(8)}を発表し、発表後には多くの質問があった。Bill Snodgrass氏 (Veolia Water Technologies and Solutions) からはFFSの水への溶解度、解離定数などの紹介に続き、ニュージーランドでの実機へのFFAの適用試験の結果の紹介があった。Marty Templeton氏 (Visentia) からはニュージーランドにおけるFFSの産業への適用について紹介があった。

5. その他の催し

5.1 IAPWS晩餐会

11月30日 (水) のシンポジウムの終了後、IAPWSのバンケットがTe Puia Geothermal ParkとMaori Art and Crafts Instituteで開催された (写真4)。参加者らは、マオリの民族舞踊ハカの歓迎を受けたのち、ニュージーランド最大の間欠泉を見学し、水と蒸気のパワーを目の当たりにした (写真5)。



写真4 マオリ文化を体験できる晩餐会会場 Te Puiaの正面入口



写真5 Te Puia Geothermal Parkの間欠泉

IAPWSの晩餐会では、宴たけなわとなった段階で各国代表がスピーチを行うことが恒例となっている。Dooley事務局長の司会によって進められ、日本からはJPAPWS会長として日本の代表を務める泰岡が、現地主催者のもてなしへの感謝と、自身の大学での教育研究や国際交流のなかでも水や蒸気的重要性がますます高まりつつある経験などについて述べた。

5.2 見学会

12月2日(金)、12時頃Novotel Rotorua Lakesideホテルからバスで移動し「Kawerau Geothermal Station」と「Mercury Kawerau Geothermal Station」を見学した。KawerauはRotoruaから60 km離れたところにある。Geothermal StationからMercury Kawerau Geothermal Stationへ蒸気を供給し、周辺の製紙工場、乳製品工場に地熱蒸気凝縮水を供給している(写真6)。



写真6 Kawerau Geothermal Stationの外観および内部の様子

6. 今後の日程とまとめ

本年のIAPWS年会は、2023年9月3日～8日にイタリア・トリノで開催される。来年は4～5年おきの開催である国際水・蒸気性質会議(ICPWS)が、米国コロラド州・ボルダーで2024年6月23日～28日に開催される。再来年はフィンランドのヘルシンキにて、2025年6月22日～27日に年会の開催が予定されている。

IAPWSは、水、蒸気、水系の熱物性、およびそれらの情報の産業利用への応用に関心のある科学者や技術者すべての参画を常に歓迎している。今後の会議に関する最新情報や、これまでの会議の議題と議事録、リリース、ガイドライン、技術手引書(TGD)は、IAPWSのウェブサイトですぐ確認することができる。

IAPWS国内委員会を兼ねるJPAPWSでは、IAPWSの参加者およびIAPWS国際委員を中心に、IAPWS年会での協議事項や講演発表の概要などを、毎年「概況報告書」として編纂し、会員限定で発行している。IAPWSの活動の状況や、TGDなど文書作成のプロセスと進捗状況などを、作業グループの参加者とリアルタイムで共有することができる。専門委員会PCCの活動(2.4節)にも述べた通り、新たなTGDの発行や既刊のTGDの更新・改定も次々と計画されている状況にあり、最新技術情報や意見の提案・発信もIAPWS/JPAPWSは歓迎する。これら活動に関心をお持ちの方は、まずはJPAPWSの事務局(office@jpapws.org)まで気軽にご連絡いただきたい。

また、JPAPWSでは、11月29日(水)には慶應大・三田キャンパス(東京都港区)で、第1回の公開イベント「水・蒸気性質シンポジウム2023」の開催を予定している(火力原子力発電技術協会の協賛があり、協会員への参加費の優待がある)。水・蒸気関連分野の講演会と意見交換会を予定している。詳細と最新情報はJPAPWSのウェブサイト(www.jpapws.org)をご覧ください。

参考文献

- (1) 粥川洋平, 「重水の準安定状態における熱物性評価に関する研究」, 日本水・蒸気性質協会 2023年度第1回全体会議 特別講演(2023).
- (2) L. Hakim, Y. Ishii, K. Matsumoto, R. Hagiwara, K. Ohara, Y. Umebayashi, N. Matubayasi, J. Phys. Chem. B, Vol. 124, pp. 7291-7305 (2020).
- (3) S. Tanaka, N. Yamamoto, K. Kasahara, Y. Ishii, N. Matubayasi, J. Phys. Chem. B, Vol. 126, pp. 5274-5290 (2022).
- (4) T. Ichihara, Y. Amano, M. Machida, Engineering Failure Analysis, 143, 106842 (2023).
- (5) P.M. Rendel, B.W. Mountain, The Journal of

- Supercritical Fluids, 196, 105883 (2023).
- (6) 立花秀一, 伊藤賢一, 火力原子力発電, Vol. 73, No. 11, pp. 67-74 (2022).
- (7) H. Yoshioka, K. Yoshida, N. Noguchi, T. Ueki, K.-i. Murai, K. Watanabe, M. Nakahara, J. Phys. Chem. C, Vol. 126, pp. 6436-6447 (2022).
- (8) 吉田健, 火力原子力発電, Vol. 73, No. 7, pp. 32-39 (2022).