

**2021年
10月**

技術士みえ No.17 (95)



写真は令和3年度技術士会会長表彰を受けられた3名の方です。

会員近況報告のコーナーに記事掲載しています。

**公益社団法人 日本技術士会
中部本部 三重県支部**

技術士みえ No. 17(95)

コーナー	タイトル	筆者	ページ
巻頭言	まずは何をしたいか	井上正喜	1
2021年度第2回セミナー	会員講演(1) アルミニウム合金製LNGタンク建造における 溶接技術および施工管理ポイント	米澤雅之	4
	会員講演(2) 2050年ゼロエミッションへの道	春田要一	20
テクノロジーカフェ	第46回 運河について～その種類と役割について～	米澤雅之	34
会員近況報告		池田和人	40
		堀 豊	41
		米澤雅之	44
今後の行事予定など			46



巻頭言

まずは何をしたいか

三重県支部 幹事

広報委員会 委員

井上 正喜 技術士(機械、総合技術監理)



今年の敬老の日にちなみ、総務省より公表された人口推計によると、今年9月15日時点での65歳以上の高齢者は去年より22万人増えて過去最

多の3640万人になったそうだ。総人口に占める割合も29.1%と過去最高で、世界201の国と地域の中で最も高くなっている。

また、2020年に仕事に就いていた高齢者も906万人で17年連続で増加しており、高齢者の就業率は25.1%、特に65歳から69歳では、49.6%とおよそ半数が働いているという。65才以上を高齢者と呼ぶのは如何なものかと訝しながら、人生100年を見据えた後半の生き方をあらためて考えさせられることとなった。

よく知られるウルマンの“青春”や松下幸之助の言葉が思い起こされる。

- ・青春とは心の若さである
- ・年を重ねただけで人は老いない
- ・人の胸には脅威に魅かれる心や人生への興味の歓喜がある

私は富士電機での在職中に技術士の機械部

三重県支部長 竹居 信幸

〒510-0025 三重県四日市市東新町2-23

東邦地水(株)内

TEL 059-331-7311

FAX 059-331-8107

E-mail: nobuyuki-takei@chisui.co.jp

門と総合技術監理部門を取得したが、時々若い技術者と話していると「技術士を取って何ができるようになりましたか」と尋ねられることがある。返答の一つは「質問や意見が言いやすくなったこと」。これは自信がついてこんな質問して恥ずかしくないだろうかという気持ちが薄らいだからである。そしてもう一つは「何ができるかより、まずは何をしたいかが大事」といい返すこと。技術士を取ればどんな得があるかのような即物的な側面より、技術士資格取得は知識獲得と実戦整理の有効な手段であり、視野を広げる契機となるに違いない。特に若者には今の仕事を通じて得た技術力を世の中一般に通用するレベルへ再構築する機会とし、技術士資格に挑戦することを勧めたい。そのための努力が今の仕事や定年後の働き方計画にきくと活かすことができると信じているからである。要は技術士資格取得によって何ができるかより、それを契機にどうしたいかが重要といえる。

「あれをしたい、こうなりたい」との思いは、何事にも興味をもち努力をするエネルギーの源泉だと思っている。私はこれまで色んなことにチャレンジして感動を覚えたり、怖くなったり、調べたり勉強したり、時には大失敗して落ち込んだりと、結構その時々新鮮な感情を一方で楽しんでいるところもあった。そんな私が今年チャレンジした一つをご紹介します。

それはスカイダイビングへの挑戦！

私にとって、高度 3,000 メートルから飛び降り、地球の丸さを感じながら時速 200km 以上のスピードで自由落下した経験は強烈であった。

1. 国内でスカイダイビングができる場所

日本国内でスカイダイビングを楽しめる場所は北海道、東京など数カ所が知られているが、2019 年から三重県下の伊勢志摩が加わった。入り組んだ地形のリアス海岸・英虞湾や五ヶ所湾など風光明媚な伊勢志摩国立公園上空からスカイダイビングする「伊勢志摩スカイダイビングクラブ」(度会郡南伊勢町田曾浦)であり、私もこの場所で今年 6 月に体験した。景色抜群！

2. スカイダイビングとは

スカイダイビングは、正式には空中での身体コントロールやパラシュート操縦スキルを競うスポーツだが、スリルを味わうために体験するのが今回の体験ダイブ(体験タンデムスカイダイビング)。タンデムダイブというのは、プロのインストラクターと一緒に飛ぶスタイルで、飛ぶのが怖いという初心者でも安心して楽しめる空のアクティビティである。ちなみに今回一緒に飛んでくれたインストラクターはドイツ出身のダイブ経験 7,000 回以上の大ベテラン。

実は最初に言い出したのは私の娘二人で、その時は「危ないからやめとけ、死ぬぞ」、と言っていた自身が、結局は興味本位から娘と跳ぶことになった。

3. 手順はいたってシンプル

ヘリコプターで一気に高度 1 万フィート(約 3,000 メートル)まで上昇してインストラクターに



抱えられた姿で共にダイブ。時速約 250 キロのスピードで 30 秒間ほど落下するフリーフォールを味わった後、パラシュートが開きゆったりとした空の遊覧、眼下には 360 度の絶景が広がっている。ドロップポイントは田曾白浜の砂の上なので安全だ。

4. 料金は？

タンデムスカイダイビング体験費用は同クラブ入会金や施設利用料、機材レンタル費等込みで 5 万円程度。この料金は他の地域でも大体同じである。ビデオや写真撮影サービスは別料金で 5 千円。

5. 実際に上がって飛び降りてみた

① 初めてのヘリコプターで一気に 3,000 メートル上空へ。しばらく風や雲の流れの様



子を見ながら上空を旋回、その後開け放たれたドアから機外へずり落ちるようにして飛び降りる。この時はかなり怖い。

② 飛ぶというより、完全に高速で落ちている状況で、すごい風圧と風切り音で、とにかく何も考えられなかった。娘は先に飛び降りて地上で待っている状態だ



が、後で聞くと手を広げて飛ぶ様で楽しくて笑っていたそうだ。信じられなかった。

自由落下は 30 秒くらいで、眼科に見渡す地球の周縁部が丸いのには気づき、怖いながらも人間が剥むき出しでこんなところにいていいのかと言語を超えて直感した。なにも知的なことは考えられない状況。

③ やっとパラシュートが開いて、これで助かるとほっとし、ここから余裕ができて景色を楽しむ。海と山が同時に視界に飛び込む絶



景に涙が出るほど感動した。五ヶ所湾は綺麗な、最高！

④ 砂浜に無事着陸。情けないが放心状態でしばらく起き上がれなかった。



⑤ それでもしばらく休むとドンドン元気になり、やり遂げた満足感が沸き起こるタイミングで表彰状をもらう。これは正直嬉しかった。また感動！



結局ヘリコプターに乗ってから砂浜着地まで



約 20 分だが、これほど濃密な時間を味わったのは初めてである。と同時に、こんなものをレジャーにした最初の人はずいとも思った。ちなみに、同クラブでは 75 才過ぎの女性も見事ダイブしたそ

うだ。

喜びや恐れ、驚嘆や感嘆など、強い感情をすべて一度に味わえるスカイダイビング。

三重県支部の皆さんも、ぜひ一度お試しを。私はこの一回で十分ですが。

ー以上ー

2021年度第2回セミナー

会員講演レジュメ (1)

日 時 2021年6月19日(土)

場 所 ウェブ開催

[講演題目]

アルミニウム合金製LNGタンク建造における
溶接技術および施工管理ポイント

[講師] 米澤雅之 技術士(建設)



幹事 社会貢献委員会委員長
防災推進担当

中部本部幹事、企画委員会、
社会貢献委員会防災小委員
会及び建設部会委員、及び独

立技術士会交流委員会委員長

自己紹介; 1952年兵庫県西宮市生まれ、三重県育ち。1975年横浜国立大学造船工学科卒業。同年に日本鋼管(株)に入社して商船・艦船の新造・修繕・改造、海洋事業に、2004年に産業廃棄物リサイクル事業のJFE環境(株)にて運送業に、2010年に東北ドッグ鉄工(株)にて再び修繕船事業に、2015年から(株)IHI愛知工場で海洋・SPB-LNGに各々従事。この時期から三重県支部にお世話になっております。取得資格は、技術士の他に労働安全コンサルタント、溶接技術者特別級、1級小型船舶操縦士、潜水士、運行管理者、防災士など多種類。趣味は、旅行、ドライブ、ゴルフ、ダイビング。飲み会を一期一会の縁として大切にしています。

1. はじめに

私が(株)IHI愛知工場時代に在籍していた当時工場で建造していたLNG船用アルミ合金製SPB(Self supported

Prismatic shape IMO type-B)タンクには、これまでIHIで培われてきた知見や、研究開発の成果が数多く用いられていた。特に溶接技術においては、長い研究の期間を通じ、受注に備え準備してきた経緯があり、そのなかで、IHIの溶接技術者が経験し、培った技術について述べました。



併せてSPB-TANK建造当時の2018年当時我が国で次々と建造されたLNG船についても雑誌(COMPASS)の記事を引用しながら述べました。

2. 日本海運・造船に再びの大チャンス

国内造船の新型船、続々竣工

キーワードは「新パナマ対応」、「タンクの最大化」、「エンジンイノベーション」。国内造船所が開発した新型LNG船の共通テーマでした。2018年に入り、シェールガス輸送向けに投入される最新型LNG船が続々と竣工しました。これらの新造船は、いずれも新パナマ運河の通航に対応しながら、タンク容積の最大化を図っているのが特徴でした。形状も従来の概念を覆すものとなりました。推進システムの進化も急激に進んだ。

2018 年 10 月現在での各社の新型船の現状に迫りました。

国内造船所で LNG 船を建造しているのが、三菱造船、川崎重工業、今治造船、ジャパンマリンユナイテッド（JMU）の 4 社でした。各社の最新 LNG 船のタンク形式では、三菱造船と川崎重工はモス型、今治造船がメンブレン型、JMU が SPB 方式 (Self supported Prismatic shape IMO type-B) を採用していました。

いずれもシェールガス輸送向けで、各社とも新パナマ運河の通航に対応した最新のラインアップを備えていました。パナマ運河の通航や港湾制限など主寸法に制限がある中で、いかに貨物積載容積を拡大するか、その方法の一つがタンクの改良でした。

三菱造船と川崎重工の両社はモス型タンクを大型化しました。タンクの形状を従来の真球を膨らませることで、寸法を維持しながらタンク容量を大幅に増加させました。これまでのモス型＝球形という一つの概念を覆しました。

今治造船(株)は日本の造船所で唯一メンブレン型の最新デザインでした。17 万 8000 m³と積み高も大きく、日本の造船所としては初めてガスエンジン「三井造船(株)の LNG 燃料 2 ストロークガスエンジン; ME-G I」を採用した最新鋭のメンブレン船でした。

ジャパンマリンユナイテッドは引き渡ベ-ースで 25 年ぶりとなる SPB 方式のカーゴタンクを搭載した LNG 船を建造しました。SPB はデザインの自由度が高く、高さもより低く抑えられ、空気抵抗の低減にもつながります。モス型 (MOSS Type) とメンブレン型 (Membrane Type)

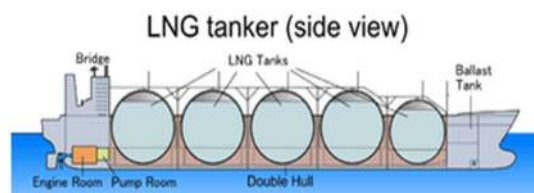


図 1 LNG タンカー 側面断面図（モス方式）

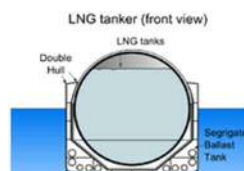


図 2 LNG タンカー 側面正面図（モス方式）

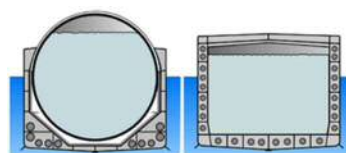


図 3 球形タンク方式、メンブレン方式

	球形タンク方式	メンブレン方式
密閉機能	タンク	タンク
耐圧機能	タンク	船体
支持機能	タンク	船体
断熱機能	タンク	タンク

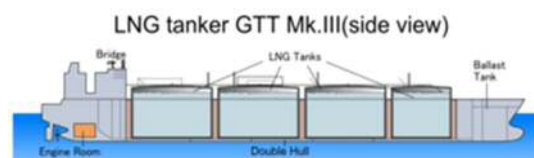


図 4 LNG タンカー 側面断面図（メンブレン方式）



図 5 コルゲート

(Corrugation)

タンク形状とともに、もう一つの大きな技術革新が推進プラントです。シェールガス革命とともに、LNG 船の技術革新、とりわけ「エンジンイノベーション」が進みました。かつては難しいとされてきたガス燃料エンジンが実用化され、これまでのタービンプラント

に替わって二元燃料ディーゼル電気推進システム DFDE (Dual Fuel Diesel Electric) が採用され、さらにはガス焚き低速ディーゼルエンジン「三井造船(株)の LNG 燃料 2 ストロークガスエンジン ME-GI」や「(株) IHI 原動機燃料として重油および天然ガスの両方を使用できる低速 2 ストロークのデュアルフューエルエンジン X-DF」のガスエンジンが主流になる見通しでした。日本の LNG 船=タービンプラントという図式は変わりました。

■2018年10月15日時点で竣工した国内造船所建造のLNG船

船名	造船所	船型	タンク形式	竣工
LNG Sakura	川崎重工	17万7000m ³ 型	モス	2018年2月
Pacific Breeze	川崎重工	18万2000m ³ 型	モス	2018年2月
Pacific Mimosa	三菱造船	15万5300m ³ 型	モス	2018年3月
Castillo de Merida	今治造船	17万8000m ³ 型	メンブレン	2018年3月
Oceanic Breeze	三菱造船	15万5300m ³ 型	モス	2018年4月
Castillo de Caldeas	今治造船	17万8000m ³ 型	メンブレン	2018年6月
Diamond Gas Orchid	三菱造船	16万5000m ³ 型	モス	2018年6月
Diamond Gas Rose	三菱造船	16万5000m ³ 型	モス	2018年8月
Enshu Maru	川崎重工	16万4700m ³ 型	モス	2018年8月
Energy Liberty	JMU	16万5000m ³ 型	SPB	2018年10月

従来は球状だったタンクの形状を膨らませて容積効率を高めることで、寸法を維持しながら最大限の貨物容積を確保しました。「さやえんどう」で採用された従来型タンクは、球面と円筒（ストレッチ部分）で構成されているが、改良型のタンクでは、球面と円筒に加えて、トーラス（円環）を挿入している。タンクの上半球部分が下半球部分より膨らんだ外見から「リング型タンク」の愛称がつけられた。リング型タンクの採用で同じ容積に対して、タンクの高さをより低く抑えることができました。「さやえんどう」と比較して、大きな貨物容積を確保しているにもかかわらず、連続タンクカバーのトップ高さや重心高さが低く抑えられていました。また、円筒部の調整により、輸送量ニーズに合わせてタンク総容積を柔軟に設定することもできました。

三菱造船が開発した LNG 運搬船「サヤリング STaGE」は同社が開発・建造した“さやえんどう”型 LNG 船に更に改良を加えて開発した船です。“さやえんどう”が連続したカバー（さや）の中に球形貨物タンク（まめ）を収めていることに対し、本船の貨物タンクは上半球部分が下半球より膨らんだリンゴのような形状をしており、そのリンゴがさやの中に入っていることから“サヤリング”と名付けられました。

リング形状タンクは、信頼性の高い MOSS 型タンクを改良したもので、新パナマ運河の通行が可能な船の主寸法を維持しながら LNG 搭載量を効率的に増加させております。お客様の輸送量のニーズに合わせて、タンク総容積を 16 万 5 千 m³ から 18 万 m³ で柔軟に設定することが可能です。



図 6 LNG 運搬船「サヤリング STaGE」

MOSS 型タンクの構造体は、球形が強度的に最も安定しておりタンク皮材の板厚を抑えることが可能なため、球形タンク方式が広く選択されてきました。

今回のリング型タンクは、パナマ運河を通航するための船幅制限対応と、大容量化による輸送効率の改善という、相反するニーズの実現を目的として開発されたものです。例として、180km³ のリング型タンクと 155km³ のストレッチタンクとの比較および 180km³ 球形タンクとの比較を図 7 に示します。リング型タンクを採用することにより、ストレッチタンクを搭載した LNG 船から船体サイズを

大型化することなく、貨物容積を 15%以上向上させることに成功しています。



図 7 タンク方式と船体サイズの比較

ジャパンマリンユナイテッド（JMU）が開発した自立角形タンク方式（SPB 方式）の LNG 船シリーズ 1 番船が“Energy Liberty”です。東京ガス子会社の東京エルエヌジータンカーと、商船三井向けに津事業所で建造され、2019 年 10 月に竣工しました。貨物タンクに SPB 方式を採用した LNG 船の建造としては約 25 年ぶり。SPB の強みを活かし、高い汎用性（荷役における世界中の既存基地設備との整合性）や燃費性能を実現しました。

SPB 方式の LNG 船シリーズは、船体を JMU 津事業所、タンク部分を IHI 愛知工場と、伊勢湾を挟んだ両工場でそれぞれ建造する体制をとりました。拡張された新パナマ運河を通航可能な汎用性の高い船型で、主に米国コープポイント・プロジェクトからの LNG 輸送に投入されました。“Energy Liberty”は旧石川島播磨重工でアラスカ・プロジェクト向けに 1993 年に引き渡した 8 万 7500 立方メートル型以来の SPB 船でした。10 万立方メートル超の大型 LNG 船の建造は JMU として初めてでした。東京ガス向けの SPB 船シリーズ 4 隻の 1 番船で、2～4 番船の建造は大幅に遅れたものの下記の日程で建造されました。

■SPB形式で竣工したLNG船

船名	造船所	船型	タンク形式	竣工
S3015 Polar Spirit	IHI	89,000m³型	SPB	1993年6月
S3016 Arctic Spirit	IHI	89,000m³型	SPB	1993年12月
S5070 Energy Liberty	JMU	165,000m³型	SPB	2018年10月
S5071 Energy Glory	JMU	165,000m³型	SPB	2019年4月
S5072 Energy Innovator	JMU	165,000m³型	SPB	2019年6月
S5073 Energy Universe	JMU	165,000m³型	SPB	2019年8月

推進システムには、低硫黄油と重油、ガスが使用可能なバルチラ製の三元燃料ディーゼルエンジンを搭載し、ボイルオフレート（気化率）も 0.08%/日にするタンク防熱仕様を採用しており、米国沿岸の排出規制に対応しながら、優れた燃費性能と環境負荷の低減を実現しました。

■主要目	
全長	299.9m
全幅	48.90m
満載喫水	11.50m
タンク総容積	165,000m³
航海速力	19.5ノット
船籍	パナマ
竣工年	2018年10月

図 8 SPB-LNG 船



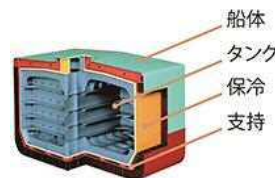
図 9 Polar Spirit



タンク



保冷



支持



歩廊

図 10 SPG-LNG TANK

パナマックス（英:Panamax）；

パナマックスとは、パナマ運河を通過できる船の最大の大きさです。閘門の寸法、水深により制限されています。これは、貨物船を設計するときの・・・パナマックスサイズの船舶は、閘門をぎりぎりでも通過するために、船舶の操作にも細心の注意が必要であり、通過できるのは日中に限られるほか、閘門の閉鎖時間も長くなります。

	拡張前	拡張後
全長	294.1m	366.0m
船幅	32.3m	49.0m
喫水	12.0m	15.2m

LNG 船が通航可能に；新閘門が供用されたことで、新たに LNG 船の通航が可能になりました。既存の閘門では、2015 年 7 月時点で存在する世界の LNG 船 583 隻のうち、通行可能なものは 56 隻にとどまり、平均容積も、標準サイズを大きく下回る 5.8 万立方メートルと実質的に通航が不可能で、通航実績もなかったです。

新閘門の供用開始によって、通航可能な LNG 船は 519 隻まで増え、平均容積も 14.0 万立方メートルとなり、標準的な船型の船舶が通れるようになる。新閘門の供用後に、通行可能な船型が大きくなると、通航可能な船舶はさらに増え、たとえば船腹の制限が 52 メートルまで緩和されると通航可能な船舶の数は 566 隻まで増えました。

3. 新パナマ運河開通で電気・ガス代が安くなる?LNG 輸送の仕組みとは？

日本最大級の電気とガスの比較サイトを運営するエネチェンジの 2021.04.01 の記事に以下の説明がありました。

6 月 26 日、太平洋と大西洋を結ぶパナマ運河の新しい水門が開通し、これまでよりも

大きな船が通れるようになりました。このことで、日本の電気・ガス代が安くなるかもしれない、とされているのをご存知ですか？ その理由をご説明します。



図 11 パナマ運河

そもそも、パナマ運河とは？

パナマ運河ってどこにあるの？

アメリカ大陸の西には太平洋、東には大西洋が広がっているのはご存知のとおりです。

南北アメリカの間には、海賊で有名な「カリブ海」があります。キューバ等の島国が点在するイメージが強いかもしれませんが、南北のアメリカはニカラグア・コスタリカ・パナマといった中央アメリカの国々が属する「パナマ地峡」という細長い陸地につながっているため、そのままでは船が通過することはできません。



図 12 パナマ運河

このため、パナマ運河の開通以前、大西洋から太平洋へ船を動かすには

1. 南下して、南米大陸突端のマゼラン海峡を回りこむ南回りの航路
2. 喜望峯もしくはスエズ運河を経由し、インド洋を通る航路のどちらかで遠回りする必要がありました。

そこで、このパナマ地峡が最も細くなるあたりを掘削して、1914年に全長約80kmの運河が開通しました。これにより、大西洋から太平洋へと船を移動しやすくなったのです。

パナマ運河の拡張、その目的は？それでは、なぜ1914年に完成したはずのパナマ運河の拡張が注目されたのでしょうか？

それは、この拡張工事が「運河を通れる船の大きさ」に関わるからです。

パナマ運河は、パナマの大地を南北に貫いて、太平洋と大西洋をつないでいます。しかし、平らな川があるわけではなく、もともとの地形の関係で、海拔26mまで船を持ち上げる必要があります。

このため、閘門（ロック）と呼ばれる数段の設備に船を入れ、水位を変化させることで段階的に船を持ち上げます。最高地点を超えた後、反対側でも段階的に水位を下げることで、太平洋と大西洋の間の移動を実現しているのです。

最も重要なのが、閘門の大きさです。パナマのマックス、から取られたパナマックス（Panamax）サイズと呼ばれる大きさ以下でないと、閘門を通過することができません。

パナマックスサイズ；全長：294.1m、全幅：32.3m、喫水：12m

この大きさの制限、とくに幅の制限は造船の世界では非常に重要な水準となり、第二次大戦当時のアメリカ海軍の戦艦「アイオワ」もこの制限に収められています。全長300mと聞くと非常に巨大なイメージがあります

が、近年に建造される8万トン以上の大型船はこのサイズを超えた「ポストパナマックス」と呼ばれるサイズも多くなっていました。こうした大型船は、航海日数が長くなり、不安定な中東政情やソマリア海賊のリスクも伴うスエズ運河ルートなどを選ばざるを得ませんでした。今回のパナマ運河の拡張により、閘門が大型化されたため、超大型船の9割近くまでもがパナマ運河を通行可能になったのです。



図13 パナマ運河の閘門に入った船

パナマ運河の拡張でどうして日本の電気・ガスが安くなるかもしれないの？

ここまでパナマ運河の仕組みと、拡張が必要になった理由をご説明しましたが、パナマ運河を大型船が通れることと、日本の電気・ガスの値段になんの関係があるのでしょうか？

LNG（液化天然ガス）輸入の現状

日本は石油・ガス等の燃料になる天然資源が乏しく、輸入に頼っています。この重要な燃料のひとつが、LNG（液化天然ガス）です。

特に東日本大震災以降の原子力発電所の停止で、LNGを燃やすLNG火力発電が日本のエネルギー源に占める割合は急速に大きくなり、東京電力と中部電力の天然ガス調達を担当する株式会社JERAは、世界で最大級のLNG

調達企業となりました。また、火力発電に使うだけでなく、みなさんが自宅で使っている都市ガスの原料も、同じ LNG です。

ガスを世界のどこから買うか、が大きな問題で、日本で使う LNG はおもにオーストラリア・マレーシアといった南太平洋と、カタール、UAE といった中東からの調達に頼ってきました。しかし、南太平洋ルートはマラッカ海峡の海賊や中国との関係、中東ルートは政情の不安定性などのリスクがあります。

また、これらの旧来からの LNG 輸出国は、購入した LNG を他の事業者へ転売することを認めないなど、事業上の制約も大きい「売り手有利」の状態になっていました。

資源を持っていない日本は、決まった売り手に頼りすぎると「足元を見られた」状態になってしまいます。調達元を分散させるほど万が一の時の安定供給や価格競争が期待できる、ということもあり、日本は新たな LNG 調達元を必要としていました。そこで、アメリカ・メキシコで生産される「シェールガス」に白羽の矢が立ちました。

2017 年の「シェールガス」輸入開始と、パナマ運河の拡張

シェールガスは 2000 年代に入ってから採掘技術が実用化されたため、従来の LNG 輸出国よりも柔軟な契約が可能です。日米の利害が一致し、2017 年からの輸入が決まりました。

北米大陸南部の大西洋側が、アメリカ・メキシコのシェールガス産地です。このため、日本にシェールガスを運ぶ LNG タンカーは大西洋側から出航することになります。

しかし、LNG タンカーは超大型船が多いため、従来のままではパナマ運河を通れず、大

西洋→地中海→インド洋→南太平洋のスエズ運河ルートでも日本まで約 40 日以上航海が必要になってしまいます。これは長くても 14 日程度の航海で済む南太平洋・中東からの LNG の調達に対して、大きくデメリットとなる点です。

それを解決できるのが、今回のパナマ運河拡張です。シェールガスを積んだ LNG タンカーがパナマ運河を通過できれば、日本までの輸送期間が 25 日程度になるのです。

シェールガスを短い日数で運べることの意味

日数がかかるということは、燃料がたくさん必要になります。パナマ運河を通るルートは、スエズ運河を経由するルートの 57.6%、南米を回りこむマゼラン海峡ルートより 81.4%もの燃料が節約できるとされています。

パナマ運河を通れない場合、燃料費が一回の航海で 1 億円ほど余分にかかるの見込まれていました。

また、大型の LNG 船は 1 隻約 200 億円と高価で、作るのにも時間がかかります。輸送に時間がかかるようと、貴重な LNG 船をたくさん用意する必要があるため、建造費や船を借りる費用が余分にかかります。大きく遠回りをするしなければならない場合、こうした部分でコストがかさんでしまうのですが、パナマ運河の拡張によって従来の LNG 調達に対して不利な面がひとつ解消され、シェールガスの競争力が高まることになりました。



図 14 高価で巨大な LNG 船

パナマ運河ルートは全域がアメリカの強い影響下にあり、他のルートよりも安全で船舶の保険料が安く済むなどのメリットもあることから、輸送費用の差はさらに小さくなると考えられます。

もちろん、パナマ運河の拡張はシェールガス輸送のためだけに行われたわけではありませんが、日本が総工費 52 億ドルのうち 10 億ドルを投資しているのには、こうした思惑もあるのです。[ポイント]環境性に優れた LNG 火力発電

このように日本での利用が広がっている LNG 火力発電ですが、「火力発電」と聞くと、環境への影響が気になる場所ですね。

じつは、LNG 火力発電は優れた環境性でも注目されているんです。最新の発電所では従来の火力発電所よりも高い温度(1600℃超)を出すことができるため、排熱まで発電に利用することができます。これにより高いエネルギー効率が実現され、CO₂の排出量が少なく済むだけでなく、硫黄酸化物(SO_x)の排出量がゼロ、窒素酸化物(NO_x)の排出も少ないといったメリットがあります。

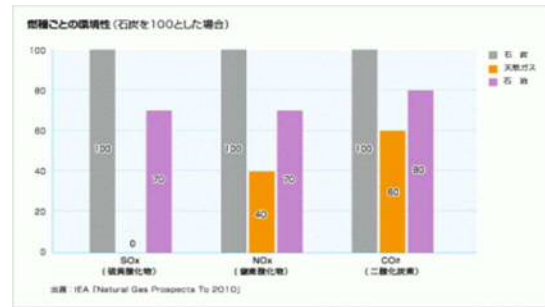


図 15 出典:関西電力:火力発電の燃料
LNG 火力発電の割合が高い電力会社
東京ガス

東京ガスの電気は、販売する電気の 100% が LNG 火力発電で賄われています。

出光昭和シェル

出光昭和シェルの販売する電気の 98% は LNG 火力発電に由来し、CO₂ 排出係数も 0.353kg/kWh と低い水準になっています。

大阪ガス

大阪ガスの電気も 93% が LNG 火力発電で、残りの 7% は再生可能エネルギーで発電された FIT 電気です。

注) FIT 電気とは、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの再生可能エネルギー電源を用いて発電され、固定価格買取制度 (FIT) によって電気事業者に買い取られた電気をいう。電気事業者が買い取りに要した費用は、電気料金に上乗せされ「再生可能エネルギー発電促進賦課金 (再エネ賦課金)」として、電気の需要家 (国民) が負担している。

2017 年のガス自由化を控えて

これまで見てきたように、パナマ運河を通しての北米シェールガスの日本への輸入が始まることで、シェールガスと他の LNG 産地との価格競争が進み、原料の値段が下がることが期待

されそれが電気代やガス代へと影響してくると考えられているのです。折しもシェールガスの輸入が始まる2017年は、家庭向け都市ガス販売の自由化が控えており、東京電力などの大手電力がガスの販売も開始することで、都市ガス価格の競争も始まると考えられています。

パナマ運河の拡張は、家庭の重要なエネルギーである電気とガスの値段を考える上で、非常に重要なニュースだったんですね。

4. アルミニウム (A5083-O) とは

1) SPB タンクに適用されている母材は A5083-O です。本材料は非熱処理型ですし、非熱処理合金の中で最高の強度があり、耐食性や溶接性も優れた材質です。船舶、車両、低圧用タンク、圧力容器などに適します。軟質の状態でも比較的強度が高く、溶接継手効率も 100% を満たすことができます。また「-O」は焼きなまし軟質材であることを意味しており、O 材は溶接熱による硬さ(≒母材強度)の変化はほとんど生じません。

さらにアルミニウムは、面心立方構造であることから、体心立方構造の鉄鋼(フェライト)と比較して低温脆性のリスクがないです。さらに、アルミニウムは低温になるほど強度が上がる特性があります。このような特性から、-162℃で貯蔵する LNG タンクにはアルミ合金は向いており、A5083 は加工性や溶接性にも優れることから、この用途には適しているわけです。低温

特性に優れているため極低温液化ガス運搬用タンクには最適な材料といえます。

2) 鉄との違い

鉄との物性値の違いが、一般的に良く言われる「アルミの溶接は難しい」につながっていると思う。主な違いを表 1 に示す。

材質	アルミニウム	純鉄	純鉄	軟鋼	ステンレス
比重	2.7	8.9	7.9	7.9	7.9
融点 (°C)	660	1083	1538	1524	1463
平均比熱 (J/g/K)	1.04	0.43	0.67	0.65	0.59
潜熱 (×10 ³ J/g)	3.89	2.12	2.7	2.7	2.7
全溶融熱 (×10 ³ J/g)	10.7	6.8	13.0	12.6	11.3
熱伝導度 (J/cm ² /K/s)	2.2	3.9	0.75	0.50	0.12
線膨張係数 293K (10 ⁻⁶ /K)	23.6	16.8	11.2	11.7	17.7

物性値や特性の違いにより、溶接においては以下の影響が生じます。

- ・熱伝導度：局所的に熱を加えるのが難しく(軟鋼の 4 倍熱が逃げやすい)、多量の熱を急速に与える必要があります。

- ・線膨張係数：鉄の 2 倍溶接変形が生じやすい。

- ・表面に安定かつ強固な酸化被膜が形成されます：酸化被膜はブローホール(以下 BH)の原因となる。また、酸化被膜の融点はアルミの融点よりも高い(約 2000℃)ため、融合不良を発生させやすい。

- ・液相での水素の溶解度が高い：溶融したアルミ合金は水素の溶解度が大きいため、凝固時に BH を生成(正確には凝固した際に溶解しきれなくなった水素が残存している)しやすい。

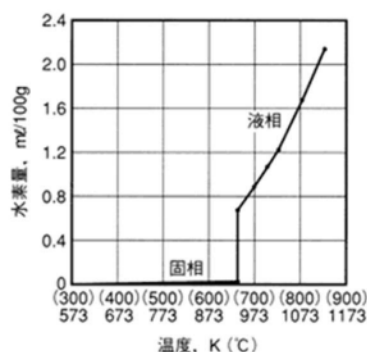


図 16 アルミの水素溶解

5. アルミニウム(合金)の一般的性質

アルミニウムは表面に特有な光沢色調を持つ美しい金属であるが、ごく薄い酸化膜で覆われています。純アルミニウムは比重が2.7、融点が660℃であり、熱伝導率は軟鋼の約3倍、膨張係数は軟鋼の約2倍である。また縦弾性係数は軟鋼の約1/3で変形しやすい

6. アルミニウム(合金)の溶接材料

溶加材としては、現在11種類がJISで規定されています。これらの中から各々の作業目的にあった物を選択することによって、信頼性の高い溶接継手を得られます。

1) 溶加材の取り扱い(管理)

溶加材は使用者が手を加えずに入手のまま使用できる品質であることが原則で

ありますが、使用中の取扱や保管方法が悪いために表面が著しく酸化したり、汚れが付着したり、傷がついたりすると健全な溶接部が得られなくなります。取扱いには次のような注意が必要です。

- ① 使用前はもちろん、使用後も湿気、ごみ、ほこり等の付着することを避けるために清浄なポリエチレン袋に入れ、所定の保管庫に収納し、乾燥したところに保管しよう。
- ② 使用中も現場に長く放置しないようにします。
- ③ 取扱いには清潔な手袋を使用し素手や汚れた手袋は使用しないようにします。
- ④ TIG溶接用の溶加棒は使用前にアセトンによる脱脂作業を行ってから使用します。
- ⑤ TIG溶加棒の持ち出しは専用の保管筒に入れて持ち出します。

⑥ 種類の異なるものは混同しないようにします。

7. ティグ(TIG)溶接とは

1) ティグ溶接

Tungsten Inert Gas溶接の略で、電極にタングステンをシールドガスに不活性ガスを用いる溶接法でアーク溶接の一種です。

一般的にアルゴン(Ar)ガスが多く用いられることからアルゴン溶接とも呼ばれます。工業的に使用されている殆どの金属や合金が接合できるという大きな特徴があります。中でも、精密な溶接、特に非鉄金属の溶接に適しています。電極とは別に溶加棒を必要とする場合、溶接作業に両手を必要とすることから比較的難易度が高く、熟練が必要です。

TIG(ティグ)溶接では、電極と母材間に高電圧を加え、高電流を流すことで起こるアーク放電によって生じる熱を利用して溶接します。アーク放電は、電極と母材間の電位差によって不活性ガスの電離が進行し、本来絶縁体である気体が導電性を持つプラズマとなることで起こります。

2) ティグ溶接の原理

ティグ溶接の原理を模式的に表したものを図1に示します。図1に示すように、アルゴンやヘリウム(He)などの不活性ガスをシールドガスとして用いてノズル内に流し、その雰囲気中で融点の高い非消耗のタングステン電極と母材との間にアークを発生させ、そのアーク熱により母材と溶加棒とを溶融させて接合する方法です。

シールドガスは他の元素と化学反応しない不活性ガスを使用するため、タングステン電極と溶融した金属の酸化や窒化、気孔欠陥の元となる大気中の窒素、酸素等の混入を防ぐ役割があります。

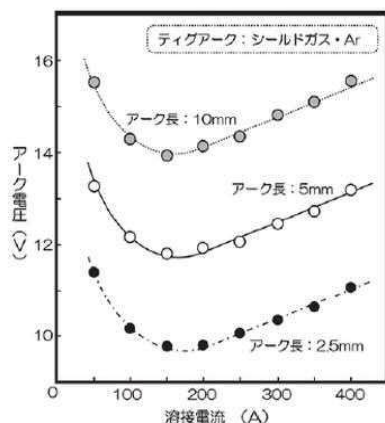


図 17 引用元；（一社）日本溶接協会溶接情報センター

3) ティグ溶接に必要な機器の構成

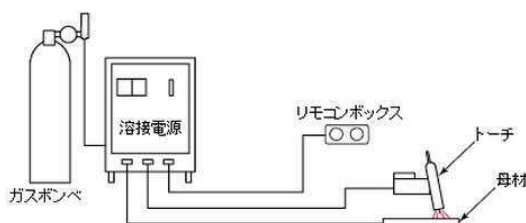


図 18 ティグ溶接に必要な機器の構成

アーク放電が発生すると、下図のように、母材と溶接する金属、および溶加棒が溶け出して溶融池を形成します。この溶融池が凝固したものがビードとなるので、溶接の性能や品質、仕上がりの美しさは溶融池の状態によって左右されます。

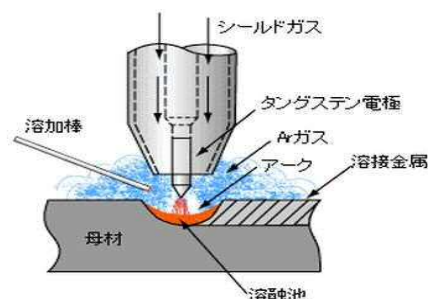


図 19 引用元；独立行政法人 産業技術総合研究所 加工技術データベース



図 12 アルミ TIG 溶接編

2) 露点（温度）

露点は、気体に含まれる水分量を示すのに用いられます。一見、湿度と似ていますが、露点は湿度よりももっとごく微量な水分量を表すのによく用いられます。露点は気体をどんどん冷却したときに、含まれる水分が凝結し、物体表面に露となって付着する（湿度 100%になると同じ意味）露点の計測には専用の露点計を用います。

水蒸気を含む気体を冷却したとき、水蒸気の凝結（液化）が始まる温度のことです。露点温度が高いことはその気体が湿っていることを示し、逆に低いということはその気体が乾燥していることを示します。特にアルミニウムのティグ溶接では、気孔欠陥防止のためシールドガスの露点管理が重要です。

(1) アルミニウム溶接では露点管理が重要

アルミニウムの凝固時の水素溶解度は鉄の約 40 分の 1 であり、アルミニウム溶接において気孔欠陥の発生原因はほとんどが水分による影響です。溶接用のガスとしてボンベに充填する場合、アルゴンガスに求められる露点温度は -60°C 以下と非常に低温です。逆にそれだけ水分を含まないドライなガスを溶接用として用いています。

アルミニウム溶接のブローホールと露点について

アルミニウムは、溶融すると溶融金属中に水素を多量に含むことができるが、固体になると含むことができる量が極端に少なくなる材料です。このため、溶融中に取り込んだ水素が、ビードが凝固すると、ブローホールとなって現れます。この水素の供給源が水分になります。

アルミニウム溶接でブローホールを防止するには、 -50°C や -60°C のような非常に低い露点のシールドガスをトーチ出口で供給する必要があります。特にアルミニウムの溶接は露点の維持管理が大切です。

(2) 露点管理の方法

金属配管の分岐部の数は必要最低限とし、樹脂ホースの長さも極力短くします。樹脂ホースの材質に天然ゴムやポリエステル、ポリ塩化ビニルなど、水分を透過し易い材質を使用することは避けなければなりません。テフロン性のホースが推奨されています。また、溶接施工前には、十分なガスパージの実施も有効です。露点性能のよいガスホースを使用する。ゴムホースよりテフロンやフッ素樹脂系を用います。ガスの接続金具もバンド締めよりも、きちんと圧着しているものを用います。ガスホースはできるだけ連結しない(継ぎ目を増やさない)様にします。

(3) その他の対策

- ・作業開始前に、ガスを5分ほど放出させ、ガス経路内に付着した水分を除去します。
- ・水冷トーチ使用の場合、冷えすぎてトーチが結露しないようにする。気温より低い温度

設定で、チラーを用いたトーチ冷却を行わないようにします。

- ・溶接物の表面についた結露は、結露がなくなる程度に加熱するか、作業環境自体を低湿度状態にエアコンで管理します。

8. アルミニウムの溶接の特徴

アルミニウム(合金)の主な融接法はイナートガスアーク溶接法であり、通常の基本的溶接法として普及しているが、軟鋼などの溶接に比べ難しいと考えられている。その理由は次のような特性によるものです。

1) 加熱中、酸化しやすいのでアルゴンなどの不活性ガス雰囲気です。溶接することが必要です。

2) アルミニウム(合金)は鉄の約3倍も熱が逃げやすいので、鉄に比べ局部加熱がやや難しく、いったん溶け始めると溶融温度が低いので溶け落ちしやすいです。

3) 表面に硬く薄いガラス状の酸化アルミニウム(酸化被膜)がある。この酸化アルミニウムの融点は約 2020°C と高く、これが加熱中母材との融合を妨げる。さらにこの酸化物の比重は約 4.0 とアルミニウムより大きいので溶融池に沈潜し、融合不良の原因となります。 ☆1

4) 溶融している時に水素などのガスを吸収しやすく、これが溶融金属にブローホールを生じる原因となる。ブローホールは主として水素を原因として発生します。 ☆2

5) 膨張係数が鉄の約2倍、凝回收縮率は約1.5倍で、溶接によるひずみが大きく、合金によっては固まるときに割れやすい。

6) 合金によっては加熱により母材が弱く、脆く、割れやすくなることがあります。

上記の中で特に下記2点について特に注意が必要です!

☆1 酸化被膜を除去する前処理が必要

- ・有機溶剤(アセトン)を使用して母材表面、溶加材の脱脂を行う。

- ・清浄なステンレス鋼製ワイヤブラシを用いて母材表面の酸化被膜を除去する。

- ・開先ルート面に対してはリューター、ヤスリ等で酸化被膜を除去する。

☆2 ブロー本—ル防止対策

- ・母材の前処理を確実に行う。
- ・溶接材料の管理を確実に行う。
- ・防風対策を実施する。鉄の溶接と比べ嚴重に行う必要があります。

- ・シールドガス流量を管理する。(TIG 溶接では 15L/min とします)

- ・シールドガスの露点管理を実施します。
- ・作業場の湿度の管理をする。湿度 85% 以上の場合テストビードで BH 発生確認をします。

9. アルミ溶接における施工管理ポイント

1) 施工管理ポイント

アルミの溶接施工管理のポイント

①露点(計測していないのは論外)

③ 開先状態(角度、ルートギャップ)

がほとんどを占める。不具合があった場合は、まず上記の 2 点を確認するだけでも多くの情報が得られます。

2) 開先形状が溶接に及ぼす影響

開先形状の各項目が施工に及ぼす影響について以下に述べます。

(1) 開先角度

開先角度については広い方が融合不良(以下 LF)の発生リスクが低い。これは開先面への入熱が大きくなることに起因する。ただし、開先角度が広い場合、必要となる溶着金属量が多くなるため、溶接收縮量および角変形量が大きくなるというデメリットがある。よっ

て LF が発生しない最も狭い角度を選択するべきであり、SPB タンクにおいては 50° を採用しています。

(2) ルートフェイス

ルートフェイスの役割としては、特にルートギャップが小さい時に効果を発揮するのだが、低電流での溶け落ちを防止し。比較的高い電流で初層溶接をするために必要である。比較的高い電流で溶接をすることは BH、LF の発生リスク低減のため重要となる。また、溶着量も多くできるため、効率化にもつながります。ルートギャップが広い場合には、そもそも低い電流で溶接せざるを得ないため、ルートギャップの効果はさほど大きくはないです。

突合せ TIG 溶接にてギャップ 0 mm の溶接をした場合に、BH を発生させずに溶接が可能なルートフェイスは 3 mm までです。I 開先の場合は t3 mm 以上から開先を取るべきです。

MIG 溶接の場合は施工法として BH の発生リスクが TIG 溶接よりも高いため、ルートフェイスは 3 mm でも BH が発生する可能性があることを考慮しなければなりません。

このように、特にルートギャップが狭い場合にルートフェイスの大きさが品質にシビアに影響を及ぼすことを忘れてはならないです。

(3) ルートギャップ(突合せ溶接)

SPB タンクで多く採用されている片面裏波溶接においてルートギャップの影響は非常に大きい。ルートギャップに対応する適正電流で溶接しなければ、電流が高い場合にはアークの裏抜け(Burn-through)が、低い場合には裏波が出ないため、ルートギャップの管理は非常に重要な因子となります。

また、ルートギャップが0～2 mm程度ではBHの発生リスクは非常に高まります。これはルートフェイス間の大気が抜けにくいために生じるBHと思われる。またルートギャップが広い場合(約10 mm以上)には電流を低く溶接せざるを得ないためBHの発生リスクは高くなります。つまりルートギャップは2～10 mm程度、出来れば4～8 mm程度で管理されるのが良いと考えます。

(4) SPBタンクに適用される開先形状

具体的な開先形状に言及する前に、SPBタンクの溶接における特徴として、厚板片面裏波溶接が主である点が挙げられます。裏波溶接は施工難易度が高いが、大板の反転が不要、パス間でのガウジングが不要、半骨面からの施工で完結できるメリットがあります。一方で角変形が大きいというデメリットも持ち合わせるため、特に変形を回避したいような組立工程では両面開先を採用しています。さて、SPBタンクに適用される開先形状は施工管理に関する事なので書面としては省略させて頂きます。

10. 適用技術および溶接装置

これもまだ現役の技術なので書面による紹介は省略させて頂きます。

ただ、横向きエレクション台車については写真のみ紹介させて頂きます。



図13 横向きエレクション台車

11. 欠陥発生時の原因究明のプロセス

重大な溶接欠陥が発生した時の原因究明はスピーディーかつ正確に実施されるべきです。施工状況等の確認によってある程度要因を絞り込むことが可能であるため、ここではその手法を述べる。基本的な情報として

①対象ブロック(母材板厚)

②施工法

③溶接姿勢

④溶接士(オペレータ)の技量

⑤環境(気温、湿度、風)

⑥開先状態(機械加工 or 手加工)

⑦開先形状(ルートギャップ、ルートギャップの変化率、ルートフェイス)

⑧シールドガスの露点

⑨使用した装置関係

上記項目の調査を即座に実施する必要があります。

これらの組み合わせによって要因を絞り込むのだが、各項目の特徴を以下に述べます。

① 対象ブロック(母材板厚)

板厚は厚ければ厚いほど熱容量が大きくなるため、十分に熱を加えるのが難しくなる。この項目では t28 mmより厚いか薄いかを調べる。厚い場合は入熱不足の懸念があります。

② 施工法

まずは半自動か自動かを調査する。半自動の場合は溶接士の技量に依存するところが大きく、技量によってはLFが多く発生する場合があります。

自動である場合は、条件が適正でない場合は長いLFが発生するリスクが高まります。

③溶接姿勢

③ 溶接士(オペレータ)の技量

オペレータの技量不足による欠陥なのか、それ以外が要因なのかを明確にするために誰が施工したかを確認します。

④ 環境(気温、湿度、風)

湿度は基本的には 85%以下であれば問題無く溶接できることとなっているが、重要なのは湿度ではなく大気中の水分量である。よって湿度 50%であっても気温が 35℃であれば大気中には相当量水分が含まれていることとなる。その量は気温 20℃の時の湿度 100%の水分量を超えます。

ただし、気温が低い場合でも湿度が高く、母材表面が濡れてしまうと、隅肉のルート面やギャップ 0 mmの Sub 内板継、3 電極のルート面に水分が残存するリスクが高いことは注意しなければなりません。風に関しては、突発的に強風が吹く様な間所では BH が発生するケースが多いので BH が大量発生している場合はそれらの環境を調査する必要があります。

⑥開先形状(ルートギャップ、ルートギャップの変化率、ルートフェイス)

ルートギャップに関しては 4 mm以下で BH、LF のリスクが高くなる傾向にあります。また、急激なギャップ変動に自動機が追従できずに LF が発生したケースが多いため、なるべく緩やかとなるように整形する必要があります。また、フィルム No. から溶接線のどこで欠陥が発生していて、その箇所でのルートギャップに異常が無かったかを確認する必要があります。

⑦シールドガスの露点

シールドガスの露点は -50°Cdp 以下と定めています。これを満足する状態で施工がなされていたかを確認する必要があります。また、露点が低い場合は 2 次線の長さや、ジョイント数、配管(またはポンペ)の出口での露点計測をすることでガス経路上のどこに問題があるかを確認する必要があります。

⑧使用した装置関係

溶接トーチ内の清掃はしっかりなされているか、ワイヤ送給機のフィードローラ近傍にアルミの切粉が溜まっていないか(送給抵抗が高まることでバーンバックを引き起こし、BH や Cu を巻き込むリスクがある)を確認する必要があります。

12. 溶接不良率の推移と不具合事例

これに関しては既に閉鎖された工場ではあるものの生産技術に関する事ですので書面での報告は省略させていただきます。

13. 非破壊検査

1) VT (目視検査)

VT は明確な基準が存在していない。

止端形状(ρ , θ)、ビード高さ、アンダーカット、アンダーフィルについては箇所、板厚によって明確に基準が定められているが、リップルのピッチやビードの不連続性については主観に左右されるところが大いにあります。

2) RT (放射線透過試験)

RT は放射線が物質を透過する性質を利用して、放射線を試験体に照射し、透過した放射線の強度変化から、内部きずの状態を調査する非破壊検査方法である。球状欠陥の検出に優れているが、ほとんど空隙の無いような線状欠陥の検出がまた、検査結果は 2 次元画像として得られるため、欠陥の深さ情報までは分からないです。

さらに、放射線を用いる検査手法であるため、人払いをしなければ撮影できないデメリットもあります。

特に横向きエレクションの溶接部では時間短縮のために同時に 4 台の RT を撮影するため透過率の高いアルミニウムではお

互いに相打ちしないようにRT用の遮蔽物を準備する必要がありました。

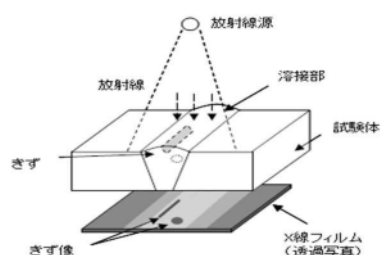


図 14 RT(放射線透過試験)例

(1) RT フィルム観察のポイント

RT フィルムは眺めていても有用な情報は得られないです。フィルムから欠陥の発生原因を究明するための情報をいかに積極的に吸い出すかが重要であると考えられます。線、面状欠陥(LF(融合不良)、IP(溶込不良)、Cr(割れ))の検出に優れている UT に代わり、フィルムを見る際は、どこにでも LF があるはずだという意識で見る(このことを「心の目」で見ると名付けている)ことで、見えにくい LF を捉えることができます。IP であればルート中央に発生するので、おおよそビード幅の中央付近を良く見てみるなどの工夫が必要となります。

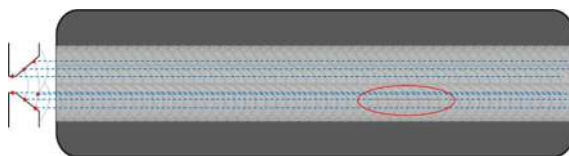


図16 フィルムに映ったLFから深さを特定する手法

3) UT(超音波探傷検査)

UT は機械的な振動を金属材料等の表面や内部に伝播させることにより、音響的に不連続な部分からの反射信号や反射強度、伝播時間などによって材料内部のきずの有無や長さ、形状などを評価する手法である。人払いがいらないため、いつでも検査可能です。

2次元ですが球状欠陥の検出に優れる RT と比較し、UT は線、面状欠陥(LF(融合不良)、IP(溶込不良)、Cr(割れ))の検出に優れています。

サイズの比較的大きい BH についても検出できるが、例えば 10mm ピッチで発生している BH も 1 つの連なった欠陥であると判定される場合もあり、欠陥種別についての精度は決して高くありません。

また、クラスターポロシティ(細かな BH が無数に集合している欠陥)について、UT では検出が困難であることが社内的な試験によっても明らかとなっています。

14. まとめ

欠陥の発生を防ぐためには決められた手順を確実に実施することで欠陥発生の大部分はコントロールできるということであります。

突然大きな BH が多数発生することが稀にあるが、それは何かしら手順を怠るか、準備が不十分だった可能性が非常に高いと考えられます。

新技術を採用する際に段取り、前処理、開先形状、溶接条件等が決められた水準以下であったり、決められた範囲から逸脱した時に欠陥の発生が顕著になるのであって、やるべ

きことを確実にこなすことで溶接前に既に不良率がある程度以下に抑えることが確約されるものだと考えられます。

それだけに、各種施工標準や要領の作成・発行も最新の注意を払わなければならないし、新規入構者への教育も

必要となります。“これに沿って溶接すれば欠陥がほぼ出ない”という標準や要領と、“これを確実に守るんだ”という意識の両輪がそろった時に初めて不良率の低下が図れると思うしそのための教育は絶対必要です。

—以上—

2021年度第2回セミナー

会員講演レジュメ（2）

日 時 6月19日(土)

場 所 ウェブ開催

〔講演題目〕2050年ゼロエミッションへの道

〔講師〕

春田要一 技術士（金属、総合技術監理）

日経エレクトロニクス 2021 年 1 月号に掲載された「2050 年ゼロエミへの切符」という記事を参考に年次大会・第 2 回セミナーで講演した。

1. 総論

1.1 走り出した「CO2 ゼロ」と次世代蓄電池と水素

日本を含む世界の多くの国が「2050 年に CO2 排出実質ゼロ」を目指して動き始めた。

化石燃料を使うことで始まった産業革命をもう一度やり直すに等しいエネルギーの大変革で、まさにゲームチェンジである。

実現のカギを握るのは高いエネルギー密度と低コストに優れる次世代蓄電池の開発、CO2 フリー水素の大量生産、そして CO2 を産業の金の卵へと転換する再資源化技術である。

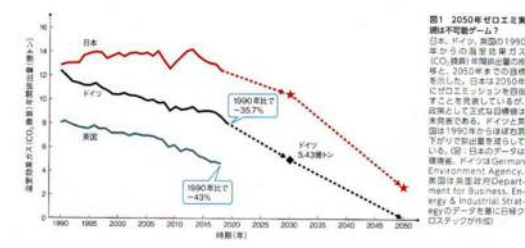
1.2 2050 年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロに

2020 年 10 月 26 日に内閣総理大臣の菅義偉氏が国会の所信表明演説でこう宣言してから、CO2 排出を抑制する規制についての話題や、主力エネルギー源として水素を使う「水素社会」の実現を目指す動きが目

見えて活発になってきた。

2020年12月8日、東京都は2030年までに都内で販売される新車をすべてハイブリッド車（HV）や電気自動車（EV）に切り替える方針を示した。

日本はこれまで「2050年にCO2排出を実質8割減らす」ことを掲げていた（図1）。



ただ、結果としては欧州でのゼロエミッション（以下、ゼロエミ）先進国と比べてCO2低減の歩みは大幅に遅れていた。「少し残ってもいい」という目標の曖昧さが対策をしない言い訳になっていた可能性がある。

今回のゼロエミ宣言では、その言い訳を封殺したという点で、社会的インパクトは従来の目標に比べはるかに大きい。

1.3 ガソリン車の新車販売禁止へ

ゼロエミ宣言後、政府から新たに出てきた規制の中には、これまでの産業の惰性を断ち切る衝撃的なものもある。

例えば、経済産業省は2020年12月、2030年代半ば以降のガソリン車の新車販売を実質禁止する方針を明らかにし英国は2030年、米カリフォルニア州は2035年、フランスは2040年以降のガソリン車の新規販売を禁止することを決めている。

こうした潮流を受けてか、トヨタ自動車などは2020年12月7日、水素の流通と活用を促進する組織「水素バリューチェーン推進協議会（JH2A）」を発足させた。

設立理由の1つに「世界各国での水素社会実現に向けた取り組みが加速している」（JH2A）ことを挙げる。水素社会への取り組みで世界を牽引してきたはずの日本企業が、気が付いたら世界の後を追う格好になっていたことへの焦りも垣間見える。

1.4 再エネの大量導入が大前提・新産業の振興策に

2050年まで残り約30年。これまで200年以上続いてきた化石燃料に立脚する世界をそのわずかな時間で切り替えることが容易でないことは明白。ただし、何をしなければならぬかは明確。それは大きく、

- (1) 再生可能エネルギーと蓄電池や水素といった電力やエネルギー貯蔵システムを大量導入する、
 - (2) (1)の電力貯蔵手段の一部でもある水素の社会インフラとしての活用を進める、
 - (3) CO2回収システムを大量導入する、
- の3つにまとめられる。

まず(1)の再生可能エネルギー（再エネ）の大量導入は、ゼロエミ実現のための大前提になる（図2）。



図2 再エネの大量導入が有力な解決策

再生可能エネルギーの大量生産によってひらけるエネルギー新時代の全体像を示した。当初は電力供給が主目的だが、さらに再エネの供給が足りず余剰分を水素に換えることで応用が広がる。水素はCO₂と合成することで再生可能なメタン、窒素と合成すると再生可能なアンモニアとなる。結果として、既存の火力発電や燃料がCO₂を実質的に出さない「再生可能」になる。（図：日経クロステック）

再エネ、特に太陽光発電と風力発電の発電システムは共に工業製品で、テレビや白物家電、自動車などと同様、大量生産すればするほど製品単価や発電単価が安くなる特性がある（図3）。

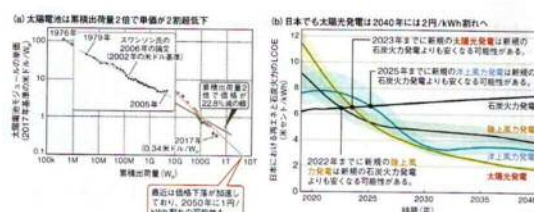


図3 再エネは導入するほど安くなる
太陽光発電システムの発電単価の推移（a）、モジュールの定電出力（kW）あたりの発電量は1976年からほぼ一貫して低下している。この傾向は「発電導入量が2倍になると発電単価は2割下がる」とした「スワンソン（Swanson）の法則」として2004年に記載された。日本における今後の太陽光発電と風力発電の発電コストを予測し、石炭火力発電と比較したデータ（b）。海上風力はこれまで数割だったのが、今後は急速にコストが低下し、早ければ2022年には石炭火力のコストを下回る。太陽光発電は2023年、陸上風力は2025年に石炭火力のコストに並び、下回っていくとしている。図：（a）の累積出荷量1M〜1GW、最新スワンソン法則の2004年の論文から、その前身、国際エネルギー技術ロードマップ（ITERP）2010版の「Results 2017 including maturity report 2017」より5割、（b）は東京大学未来ビジョン研究センター編「日本における石炭火力発電の発電単価見直し」より、2019年10月の版に日本プロセッサが加筆して作成

太陽光発電の場合、累積出荷量が2倍になれば単価は約2割安くなるという傾向は既に50年近くも続いており、提唱者の名前から「スワンソン（Swanson）の法則」と呼ばれている。

陸上風力は累積出荷量2倍で単価が15%安くなる傾向。洋上風力はまだ黎明期でそうした傾向は明白ではないが、欧州ではこの2年ほどで着床式洋上風力の発電コストが激減し、陸上風力に迫る水準になってきた。

1.5 日本でも2円/kWh割れが視野に

再エネのコストダウンが遅れていた日本でも今後は急速に発電コストが下がらそう。

東京大学未来ビジョン研究センターは2019年10月、2022年には日本においても新規の陸上風力の発電コストが新規の石炭火力発電を下回る可能性があるなどの予測を発表した（図3（b））。

太陽光発電の発電コストは2040年には2円/kWhを下回る見通しだという。

一方、化石燃料に基づく火力発電はまさにCO2の大量排出源であることに加えて、

再エネのような大量導入によるコスト低減構造がない。CO2対策をすればコストの上昇は不可避である。原子力発電はゼロエミではあるものの、安全性対策によって最近では発電コストがやはり上がっている。

東京大学未来ビジョン研究センターは、この結果として遠くない将来、石炭火力発電がいわゆる「座礁資産」になる可能性を指摘する。石炭火力の発電コストが再エネに対して大幅に割高となり、誰もその電力を使わなくなって投資額を回収できないまま立ち往生するというわけだ。ただし、石炭火力を守ることを理由に再エネの導入を止めるというのは考えにくい。

導入すればするほど安くなる再エネは、CO2排出削減策そのものだが、その策が経済合理性を確保する基盤にもなる。地球温暖化を抑えるための環境対策はそれだけを見ればコストだが、その環境対策を大量導入で安くなる再エネと組み合わせることで、「グリーンニューディール」とも呼ばれる巨大な産業振興策になるのである。

1.6 電力貯蔵は4種類から2種類へ

ただし、太陽光発電や風力発電にも課題はある。その出力が時間・天候・季節によって大きく変動する点。しかもその変動を精密に予測し、コントロールすることが容易ではない。

このため、再エネの大量導入には、その出力変動を吸収する電力貯蔵システムの大量導入も併せて進めることがセットになっている。

この電力貯蔵システムが大量にあれば、これまでその都度の消費量しか発電できなかった「同時同量則」という縛りを超えて、大量の余剰電力を発電することも可能

になる。

この電力貯蔵システムにはいくつも種類があるが、典型的な充放電時間や出力、そして利用コストを考慮すると事実上、4種類に大別できる（図4）。

- (a) 数秒以下の電力需要の急変動や非常に低い電圧でも充放電できる電気2重層キャパシター、
- (b) 1～2日以下の放電時間で容量と出力のバランスがよい蓄電池、
- (c) 電力需給の大きな変動に短時間で対応できる揚水システム、
- (d) 水を電気分解（水電解）して製造する水素関連のシステム、

の4種類である。

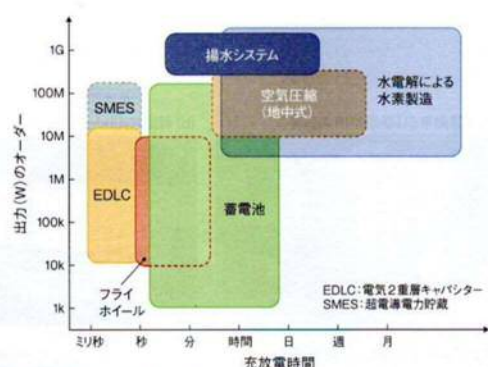


図4 電力貯蔵は事実上、4種類の技術で実現へ
各種電力貯蔵技術をその典型的な充放電時間と出力で比較した。各技術が重なった領域は利用コストの低い方が上になるように配置した。下になった技術、あるいは日本では実現性が低い技術は点線で示した。放電時間が数秒から数時間、しかも出力が10MW以下であれば蓄電池の一択となる。1秒以下の応答性が必要な場合はEDLC、出力が100MWより大きい場合は揚水システム、充電時間が数日～数ヶ月と長い場合は水電解装置による水素製造が優れている。（図：産業技術総合研究所の資料を基に日経クロステックが作成）

一方、蓄電池は今後の技術開発によってより短時間での充放電や、大出力の需要にも対応できる。

何より、蓄電池は大量生産が加速しつつあり、コストが急速に下がっている。

ただ、長期的にはさらに蓄電池と水素の2つに収れんしていくという予測もある。

揚水システムは河川などに2つのダムを造る必要があり、環境保護の立場から今後

の大量導入は難しい。

1.7 電気はできるだけ電気でためる

残る蓄電池と水素は、コンピューターの主記憶である DRAM とハードディスクのような存在で、組み合わせて使って初めて経済合理性を保てるシステムとなる。

基本的な方針としては、発電した電気を貯蔵するのはできるだけ電気に近い技術、つまり蓄電池でためるべきである。

理由は、電気を一旦水素に変換してしまうと電気に再変換することによる損失が大きく、蓄電池にためる場合と比べて取り出せる電力量が約1/2になってしまうからである（図5）。

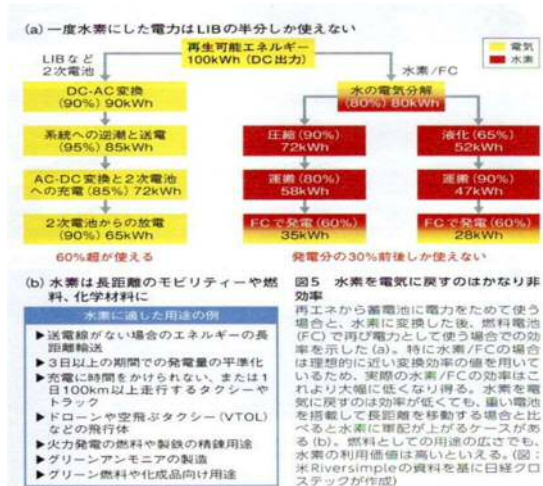


図5 水素を電気に戻すのはかなり非効率
再エネから蓄電池に電力をためて使う場合と、水素に変換した後、燃料電池 (FC) で再び電力として使う場合での効率を示した (a)。特に水素/FCの場合は理想的に近い変換効率の値を用いているため、実際の水素/FCの効率はこれより大幅に低くなり得る。水素を電気に戻すのは効率が低くても、重い電池を搭載して長距離を移動する場合と比べると水素に軍配が上がるケースがある (b)。燃料としての用途の広さでも、水素の利用価値は高いといえる。（図：米Riversimpleの資料を基に日経クロステックが作成）

ただし、だからといって再エネの長期的な変動までも蓄電池だけで吸収しようとすると今度は貯蔵コストが水素に比べて極めて割高になる。

DRAM をハードディスク替わりに使うようなもの。その使い分けの目安となる放電時間は現在、約4時間。蓄電池がより安くなる将来は2日になるという試算がある。

高い重量エネルギー密度と安いコストを両立できるリチウム硫黄 (Li-S) 2次電池などが実用化されれば、蓄電池の役割の幅

がもう少し広がる可能性もある。

1.8 量的には水素が全体の3/4超

もちろん、蓄電池の役割が多少広がっても水素の重要性は変わらない。

再エネの長期的変動の吸収のほか、長い航続距離と高い稼働率が必要なトラックやタクシー、船舶、そしてドローンから各種航空機までの飛行体の動力源としては水素が優れている（図6）。



加えて、水素には火力発電の燃料や化学製品の原料としての役割もある（図5（b））。

一般に社会で使われるエネルギー総量（1次エネルギー）のうち、電力として使われているのは1/4弱に過ぎない。

残り3/4超は各種燃料や暖房、鉄鋼の精錬、肥料や化学材料の合成の熱源などとして消費されており、水素の独壇場となる。

ゼロエミを実現するにはこの部分のCO2排出に正面から対処しなければならないのである。

1.9 1基で燃料電池車200万台分・

火力発電を再エネに転換

ゼロエミ実現のために重要な2番目の取り組みは、電力貯蔵システムの1つである水素を主力燃料として社会で広く使っていくことである。

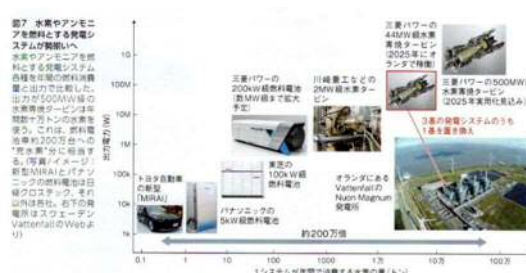
これまで日本で水素社会への取り組みが進まなかった理由としては、燃料電池車の販売不振が挙げられていた。

そして、その理由としては価格が高いことに加えて水素ステーションの設置が進まないことが挙がっていたが、水素ステーションの運営側からみれば燃料電池車が増えなければ採算が取れず、設置数を増やせない。

つまり、燃料電池車の普及が先か、水素ステーションの普及が先か。まさにニワトリとタマゴの議論だった。

しかし、水素の潜在的用途の中では、燃料電池車向けの割合は大きくない。

一方、出力が0.5GW（50万kW）の火力発電タービン1基の燃料に水素を使えば、それだけで燃料電池車200万台への年間必要量と同じ量の水素を1年で使うことになる（図7）。



1.10 火力発電商談の2/3が水素関連

実際、ここへきて火力発電の燃料としての水素の利用が始まりつつある。大型の火力発電用タービンを開発する三菱パワーなどが水素対応のシステムの開発にメドをつけ、既に受注を始めた。

「水素の30%までの混焼であれば、既存

の火力発電システムをわずかな改修費用でそのまま使える。高効率な専焼のシステムも 2025 年までには開発する」（三菱パワーターボマシナリー本部ガスタービン技術総括部技監・副総括部長の谷村聡氏）。

たとえ混焼でも発電所からの CO2 排出量を減らせるインパクトは大きいが、水素の専焼になるとその効果は巨大。

三菱パワーは専焼システムの受注も公表分だけでオランダと米国ユタ州の 2 件あるとする。

「北米での案件は今年（2020 年）に入ってから大きく増えており、新規案件の 2/3 が（混焼への改修を含む）水素関連。

日本でも水素混焼の実証実験は 2019 年から始まっており、電力会社の関心は高い」（谷村氏）という。

1.11 水素の色分けが世界標準に

大量の水素の利用が始まると、次に問われるのは、その水素はどのように作られるか、そして十分な量を確保できるのか、である。

世界では水素の生産の際に CO2 を排出するかどうかによって「色」を付けて呼ぶようになってきた（図 8）。

具体的には、水素を生産する際に多くの CO2 排出を伴う場合は「グレー水素」、ただしその CO2 を大部分回収して貯蔵などをする場合は「ブルー水素」である。

そして、CO2 を当初からほとんど出さない方法、例えば再エネで水を電気分解（水電解）して水素を発生させる場合は「グリーン水素」と呼ばれる。



まだ技術の実用性は明らかになっていないが、天然ガスの改質で CO2 を出さない方法も登場してきた。三菱重工業は「ターコイズ水素」と呼ぶ。

仮に火力発電所で使う大量の水素がグレー水素であれば、発電所で CO2 が出なくても実質的には大量の CO2 を排出していることグレー水素の利用もやむなしとみる。

「まずは水素を流通システムに載せることが重要。その後、ブルー水素を増やすが、最終的にはすべてグリーン水素になる」（同社）とみる。

ちなみに現在、日本で使われている水素は約 135 万トン前後とみられる。苛性ソーダ (NaOH) 生産時に得られる水素以外の発生プロセスでは CO2 を排出するとみられるため、多くがグレー水素ということになる。

水素の量の確保のために経産省傘下の新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) がオーストラリアの褐炭の改質で生産しようとしている水素も当初はグレー水素である。

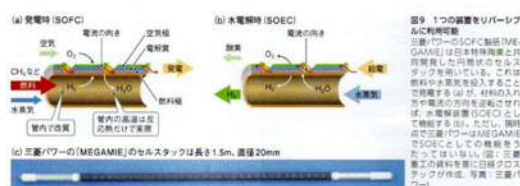
NEDO は CO2 の回収によってブルー水素にする計画だというが、実証実験ではまだコストがかなり高い。目標のコストにできるのは 2022 年以降になりそうである。

1.12 水電解装置に日本企業が続々参入

グリーン水素を製造する水電解市場では現在、ノルウェーやドイツの企業が君臨し

ているが、今後は日本の企業も活躍しそうである。

例えば、三菱パワーは、固体酸化物形燃料電池（SOFC）を逆回しにすることで水電解モード（SOEC）になる技術を開発している（図9）。



同社の親会社である三菱重工業はノルウェーHydrogenProに出資した。東芝エネルギーシステムズはこれまで固体高分子膜（PEM）形の水電解装置中心だったが、SOECも手掛け始めた。

装置の規模を武器に市場を取りに行こうとする国内メーカーも出てきた。旭化成は、NEDOなどが福島県浪江町に設置し、2020年7月に本格稼働させたグリーン水素の製造施設「福島水素エネルギー研究フィールド（FH2R）」に、稼働例としては世界最大となる10MW級のアルカリ水電解装置を納入した（図10）。



図10 2020年内限定「世界最大」の国内グリーン水素製造システム
福島県浪江町で2020年7月に本格稼働した太陽光発電と水電解装置によるグリーン水素生産施設「福島水素エネルギー研究フィールド（FH2R）」に、旭化成が200気圧の水素タンク、水電解装置は旭化成の10MW級アルカリ水電解装置を導入し、最大1200Nm³/時（108kg/時）の水素を生産可能である。装置は世界最大で、2021年にもこれを大きく超える規模のシステムが海外で稼働する見込み（a）～（e）はNEDO、（b）、（c）は旭化成、（d）は旭化成、（e）はノルウェーHydrogenPro

最大で1200Nm³/時（108kg/時）の水素を生産可能だという。

旭化成は、このグリーン水素事業が今後急速に拡大するとみる。

「当社の10MWの水電解装置は1ユニットとしても世界最大。競合他社にはより大きな装置もあるが、小さな（2M～4MW級の）ユニットを複数組み合わせている。当社は全体として100MWかそれ以上の規模をも想定して10MW級ユニットを開発した」（旭化成執行役員で研究・開発本部技術政策室長の竹中克氏）。

1.13 世界ではグリーン水素が主流か

実際、世界ではグリーン水素の製造計画が目白押しで、FH2Rの天下は2020年内で終わりそうだ。100M～800MWという規模の計画もある。

フランスやドイツ、イギリスなど欧州各国は国家戦略としてそれぞれ2030年までに数GW規模でグリーン水素を製造することを決めている（図11）。



さらには2020年7月、欧州EUは2025年までに6GWの水電解装置で累計100万トン、2030年末までに40GWの装置で同1000万トンのグリーン水素を製造することを発表した。

これも燃料電池車向けに限らず、火力発電での混焼や専焼を主力用途としていると考えられる。

1.14 オーストラリアは“油田”地帯に

地理的、気候的に再エネ資源に恵まれたオーストラリアの鼻息はさらに荒い。同国は2019年11月に政府としての水素戦略を

発表し、2030 年までに 5GW 規模のグリーン水素製造を政府目標とした。

同国のチーフサイエンティストである Alan Finkel 氏は 2019 年 12 月に「現在我々は雇用と輸出先とエネルギー貯蔵庫、および CO2 削減をもたらしてくれる新産業の日が昇る間際にいる」と声明を発表するなど、グリーン水素事業をかつての油田産業のように位置付ける。

輸出先とは日本などアジア諸国で、グリーン水素などを売り込む考えだ。

民間ではさらに大規模なグリーン水素の事業計画が幾つも進んでおり、再エネ 26GW でグリーン水素やそのアンモニア版である「グリーンアンモニア」などを製造する計画も急ピッチで進んでいる（図 12）。

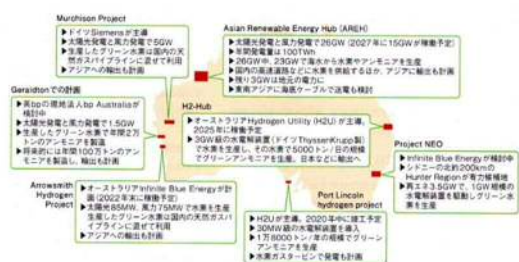


図 12 オーストラリアではグリーン水素の製造計画が目白押し。オーストラリアにおける、主に期間のグリーン水素製造計画を示した。Asian Renewable Energy Hub (AREH) は最大 26GW の再生可能エネルギーを集中し、グリーン水素やグリーンアンモニアを生産する。西オーストラリア州の南西部に位置している。アンモニアを生産する計画が多く、またそれぞれの輸出先として、日本などアジア諸国を想定している計画が数多くある（図 12 図表 A1 スケッチ）

1.15 グリーン水素のコストが急降下

これまで、グリーン水素には前のめりな見方とは別に冷めた見方もあった。それは、グリーン水素のコストを懸念する見方である。

グリーン水素はほんの 3 年ほど前までは 10 米ドル（約 1000 円超）/kg 以上で、米国での天然ガスの価格の 5～10 倍と割高だった。

大量の水素確保はまずは安い褐炭の改質で、という NEDO の方針もこうした背景から立てられたようだ。

ところが、2 年ほど前からグリーン水素

の製造コストは急速に下がり始めた。

2018 年には 8 米ドル/kg、2019 年には 5 米ドル/kg と低下。2030 年には 2 米ドル/kg 前後にまで下がるという予測も出てきた。

これは、NEDO が 2030 年に褐炭の改質で実現を目指す「30 円/Nm3（約 3 米ドル/kg）」というブルー水素の価格をグリーン水素が下回ってしまう。

2050 年には 1 米ドル前後/kg（10 円/Nm3）になる見通しで、天然ガスの最高値に並ぶ。

1.16 安くなる要因が幾つもある

背景には水電解装置の価格と再エネの発電コストの急速な下落がある。グリーン水素の価格は大きく 3 要因が絡んでいる。

- (1) 水電解装置の償却費、
- (2) 装置を駆動する再エネの電気代、
- (3) 電力で水を分解する効率の向上、

このうち、(1) は装置の価格とその設備稼働率に左右されるので、計 4 要因ともいえる。

これまでは「再エネの電気代が 3 円/kWh 以下にならないと価格競争力が出ない」

（ある水電解装置メーカー）という見方や、いや「電気代は 7 円/kWh で水電解装置が約 500 米ドル/kW でも安い蓄電池を組み合わせて設備稼働率を上げられれば 30 円/Nm3 を実現できる」（東京大学の研究者）、という議論があったが、水電解装置の大幅な価格低下は想定外だったようだ。

ちなみに日本ではまだ再エネの発電コストが高く、グリーン水素の製造コストも高い。ただ、前述したように日本でも太陽光発電の発電コストが 2 円/kWh を割り込む可能性が指摘されるようになってきた。グリーン水素の将来は明るそうだ。

1.17 運搬や流通は別の媒体で

グリーン水素の価格にメドが付き始めたことで、2050 年ゼロエミ実現の可能性も見えてきた。ただし、実際には技術的課題が山積している。

その 1 つが、水素の輸送や流通の手段。水素は 1 気圧の状態では体積が大きすぎて非常に扱いにくいのである。

パイプラインの発達した国・地域や一部の都市では、ほぼ 1 気圧のまま長距離を輸送することも可能だが、現時点の日本では一般的とはいえない。

このため、大幅にコンパクトになる「水素キャリア」に水素を変換して輸送、流通させることになる（図 14）。これには一長一短があり、どれが主流になるかは見えていない。



MCH: メチルシクロヘキサン

図 14 水素キャリア間で技術の開発競争進む

産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 (FRE) が所内で展示していた、1 気圧 (0.1MPa) の水素ガス 1m³ と、それと同量の水素を取り出せる水素キャリア 6 種類の体積の比較。(写真は日経クロステック)

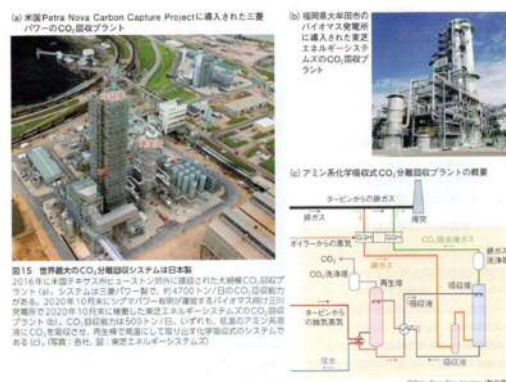
1.18 CO₂ の回収と資源化、日本が世界をリード

2050 年ゼロエミを実現する上で、(1)

再エネ、(2) 蓄電池や水素などの電力貯蔵システムの 2 つと同様に重要な技術がある。それが (3) CO₂ の回収技術。

仮に、電力と燃料などがすべて再エネやグリーン水素になっても、CO₂ の排出は残る。日常生活で利用する工業製品の多くから炭素や炭化水素材料を排除することはできない。このため、CO₂ 回収技術は欠かすことのできない必須技術なのである。

この分野でも日本の企業は世界を牽引する位置にいる。例えば、三菱パワー（旧三菱日立パワーシステムズ）は 2016 年に米国で現在世界最大級の CO₂ 回収プラントを建設した（図 15）。CO₂ を 4700 トン/日という規模で回収できる。



これに続く勢いなのが東芝エネルギーシステムズで、2020 年 10 月末に福岡県大牟田市のバイオマス発電所において 500 トン/日規模の CO₂ 回収プラントを稼働させた。

いずれも、アミン基 (NH₂-) を持つ有機溶媒が高温では CO₂ を吸収し、低温で放出する仕組みを利用して火力発電所の排ガスから CO₂ を分離、回収する。

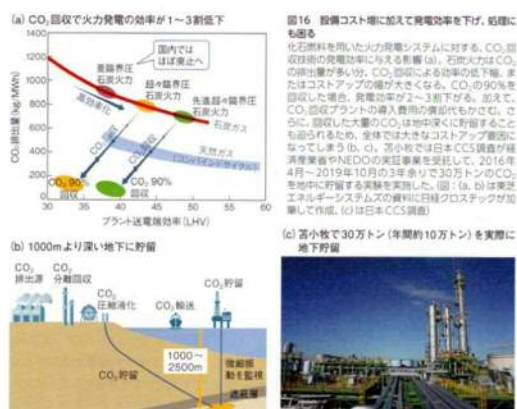
ちなみに三菱パワーのプラントの CO₂ 回収率が、対象とする排ガスに対して 95% であるのに対し、東芝エネルギーシステムズ

のプラントは 99%と高い。

1.19 再エネなしでゼロエミ達成？

こうした技術があるなら、上述のエネルギーすべてが再エネ由来になった場合とは逆に、100%化石燃料ベースのまま CO2 回収を徹底することでゼロエミを達成することも理屈の上では成り立つ。

ただし、これには大きな 2 つの課題が立ちはだかる。1 つは、CO2 回収のコスト。CO2 回収のコストは火力発電所から排出される CO2 の量に応じて増える。このため、CO2 排出量が多い石炭火力発電でのコストアップ分が大きくなる（図 16）。



より具体的には、CO2 回収プラントの初期投資額が火力発電プラントの建設費用と同程度になる。

加えて、本来、火力発電に使われていた蒸気や発電した電力の一部を CO2 回収プラントの稼働に使うために、発電効率は 2~3 割も低下してしまう。

こうした課題があるため、もともと効率が低い亜臨界圧石炭火力などは、たとえ CO2 回収と組み合わせても、生き残ることができないとみられている。

1.20 地中埋蔵のコストが見えない

もう 1 つの課題は回収した CO2 の処理コ

ストや貯留先が見通せていない点。火力発電所では大量の CO2 が毎日排出される。

50MW（5 万 kW）級の中規模の発電所でおよそ 1000 トン／日。大規模火力発電所ともなれば、その 10 倍超。年間では 300 万トンを超える CO2 が出てくる。

CO2 の資源化を想定しないシナリオでは、回収した CO2 は地中への貯蔵が想定されているが、これだけの量を継続的に地中に入れられるかどうか検証されていない（図 16（b））。

2016 年度から苫小牧市で CO2 の回収から地中貯蔵（CCS）までの実証実験が実施されたが、確認できたのは年間 10 万トン、約 3 年間で計 30 万トンの規模にとどまった。

しかもそのコストの詳細は公表されておらず、CCS 技術がトータルでどれだけのコストアップにつながるのか分かっていない。

再エネを使わなければ、電力やエネルギーに安くなる構造がない上に、こうしたコストアップ要因が積み重なって電力やエネルギーのコストは大きく上がってしまう。つまり、CO2 回収だけのゼロエミは現実的ではない。

1.21 脱炭素ではなく炭素循環型社会へ

コスト低減と CO2 の削減や処理を両立させる策がある。エネルギーは再エネベースにした上で、そのグリーン水素と CO2 で炭化水素材料、例えばメタン（CH4）をメタネーションと呼ぶプロセスで合成する手法（図 17）。

CO2 はこのメタンを燃料として利用する火力発電所で回収することで得られる。

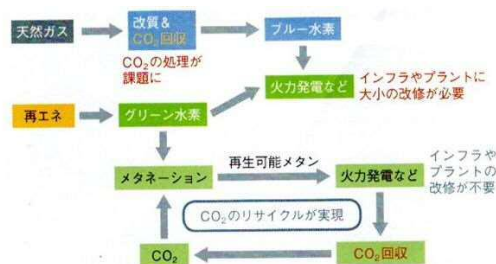


図17 CO₂回収は不可欠だが再資源化で三方よし
CCSまたはCCUSと呼ばれるCO₂の回収や利活用技術は、ブルー水素を軸にする場合、グリーン水素を軸にする場合のいずれでも必須技術になる。グリーン水素を軸にする場合に、回収したCO₂を基にメタンを合成（メタネーション）すれば、既存の火力発電などが改修不要のまま「再生可能火力発電」となり、再エネ事業者、CO₂の削減を推進する人々、そして既存の発電インフラ事業者のいずれにも望ましい状況になる。ただし、再生可能メタンのコストは再生エネの発電コストが3円/kWh以下にならないと天然ガスに対する価格競争力が出ないという指摘もある。（図：日経クロステック）

するとこのメタンは火力発電所で燃焼させてもCO₂を増やさない「再生可能メタン」になる。

CO₂は回収からメタネーション、そして火力発電での燃焼と繰り返しリサイクルされる格好だ。「脱炭素ではなく、炭素循環型社会になる」（あるインフラ系事業者）。これもゼロエミ実現の方向性の1つだ。

メタネーションのメリットはCO₂の捨て場所や廃棄コストを考えなくてよい点。しかも、天然ガス向けガス管など社会インフラの改修が不要という点でもメリットが大きい。

国内ではNEDOと国際石油開発帝石、日立造船がこのメタネーションのプラントを新潟県長岡市に設置し、2019年度後半に試験運転をした（図18）。

さらに日立造船は2020年10月から、小田原市で、発電設備付きごみ焼却施設を想定したメタネーションの実証実験を始めた。

実験完了は2022年度の予定だ。メタネーションによるCH₄の生産量は125Nm³/時だという。



図18 メタネーション用プラントも試験稼働
NEDO、国際石油開発帝石、日立造船が開発し、新潟県長岡市に設置したメタネーションのプラント。天然ガス改質で出るCO₂と水電解によるグリーン水素でCH₄を合成する。2019年秋～2020年3月に試験運転した。（写真：国際石油開発帝石）

1.22 CO₂フリーの天然ガス改質技術が実用化？

天然ガス（CH₄）の改質によるH₂の生産はこれまでCO₂の大量排出が避けられなかった。

ところが、CO₂の代わりに、工業的に価値のあるカーボン材料を直接得られる天然ガス改質技術が登場してきた。ゲームチェンジャーになりうる技術である。

この技術は、CH₄を無酸素下で熱分解するもの。反応式はCH₄→2H₂+Cと極めて単純だが、これまで実用化されなかったのは、1400℃という高温にする必要があったから。

工夫無しにここまで高温にすると大量の電力が必要で、得られたH₂の熱量を上回ってエネルギーを取り出せなくなってしまう。

詳細は明らかにしていないが、米Monolith Materialsはこの課題をプラズマ熱分解という方法で解決したとする（図A-1）。



既に、量産プラントが稼働済み。三菱重

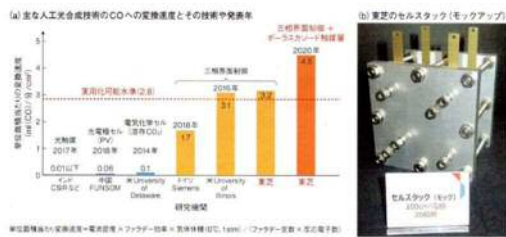
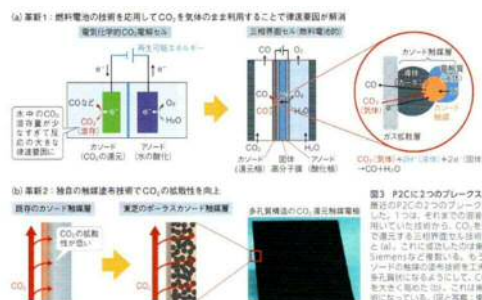


図2 CO₂からCOを生成する「人工光合成技術」が実用化水準を大きく超えた
CO₂からCOを生成する技術の「人工光合成技術」の最近の発展の様子 (a)、光触媒、CO₂などに変換する技術の効率向上は顕著している。一方、CO₂を電気で分解する技術 (Power to Chemicals (P2C)) はこの数年、飛躍的に効率向上し、実用化水準を超えてきた。開発は東芝が中心のトップクラスにある (b) (c) 東芝の燃料電池に日産のスタックが搭載、写真、日産プレスリリース

代表的なのが「フィッシャー・トロプシュ (FT) 法」で、第2次大戦下の日本やドイツで既に”利用実績”がある。

ところが、これまではCO₂からCOを高い効率で作り出す技術がなかった。この技術は人工光合成と呼ばれ、これまでは「2050年の実用化に期待」という状況だった。

人工光合成はエネルギー源として光を使うタイプと、電力を使うタイプに2分される (図3)。



前者における単位面積当たりのCO生成速度は0.06ml/分/cm²と低い。

一方、電力を使うタイプ、具体的にはCO₂が溶けた水を電気分解 (CO₂電解) する手法も2015年までは同0.1ml/分/cm²で実用には遠かった。

2.2 燃料電池の技術で飛躍

状況が変わったのが、CO₂電解に燃料電池の技術を応用したことである。それまでのCO₂電解は、水に溶けたCO₂を電極表面で反応させていた。

しかし、CO₂の水への溶解量が、実用化に必要な量より大幅に少なく、反応を律速

していた。必要なCOの生成量を確保するには、電極を大面積化するしかない。

一方、燃料電池では一般に、固体の導体を伝わってくる電子と電解液を伝わってくるイオン、そして気体の酸素 (O₂) またはH₂の3つを触媒表面に導いて反応させる「三相界面反応」という技術を用いる。

この技術をCO₂電解に応用したことで、CO₂を水に溶かす必要がなくなり、気体のまま反応させることができるようになった。

律速要因が消えた結果、COの単位面積当たりの生成速度はそれまでの10倍以上に高まった。

東芝は固体高分子形燃料電池 (PEFC) を既に商品化するなど三相界面反応技術に強みを持ち、それを生かしてCOの生成速度を世界最高の3.2ml/分/cm²まで引き上げた。これで「実用水準を超えた」 (東芝) という。

2.3 200トン/日のCO₂も処理可能

さらに東芝は、三相界面反応で利用する触媒材料を多孔質になるように塗布方法を工夫した。これによってCOの生成速度は4.5ml/分/cm²となり、電子の反応効率であるファラデー効率は93%になった。

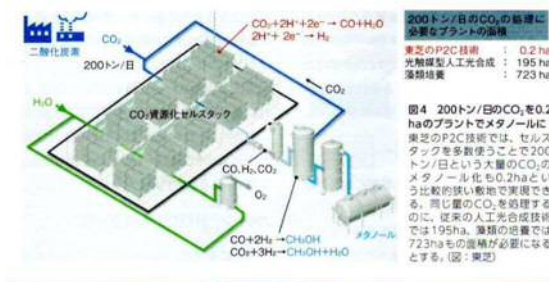
同社はこの技術を既存の人工光合成と区別する意味で「Power to Chemicals (P2C)」と呼ぶ。

今後、東芝は1~2年のうちに、セルスタックを多数重ねることで、年間1~2トンのCO₂を処理できる焼き立ての「食パンサイズ (2斤) 」 (同社) のモジュールを開発。

2022年度までにそれを多数並べる大型システムを開発して動作検証を進める計画で

ある。

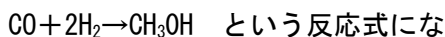
シミュレーションでは、0.2 ha（ヘクタール）というプラントの占有面積で 200 トン/日という量の CO₂ を CO に変換可能になったとする（図 4）。



2.4 駆動には再エネの余剰電力を想定

ちなみに、CO₂ から CO の生成に必要な電力量は「1kWh で CO 数百 g」（東芝）というオーダー。ここからおおよその材料の製造コストを見積もれる。

例えばメタノール（CH₃OH）をこの CO から合成すると、



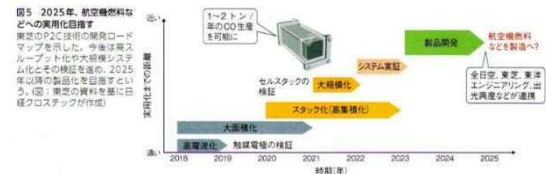
現在は 1kWh の電気代が 25 円前後。仮に 1kWh で 500g の CO を生成できるとし、グリーン水素が 500 円/kg とすると、合成 CH₃OH は H₂ の材料費と一部の電気代だけで約 81 円/kg。現在の CH₃OH の市場価格は 25～40 円/kg で、勝負にならない。

ただし東芝は、「電力には再エネの余剰電力を想定している」とする。つまり事実上電気代はゼロを想定する。

そうでなくとも 2040 年ごろには日本でも再エネの電気代は 2～4 円/kWh という水準になるとみられる。グリーン水素も 200 円/kg に下がると仮定すると、合成 CH₃OH の材料費と電気代の合計は 17～21 円/kg となって、勝負になる可能性が出てくる。

2.5 2025 年にジェット燃料を合成か

東芝は、必要な技術開発と検証を 2022 年までにほぼ終える見通しで、実用化の想定時期を 2025 年以降とする（図 5）。



当初の合成燃料は、航空機用ジェット燃料かもしれない。

2020 年 12 月 2 日には、東芝エネルギーシステムズ、東芝、全日空や東洋エンジニアリング、出光興産、そして CO₂ 回収技術などを開発する日本 CCS 調査の 7 社が共同で、P2C 技術を基に、CO₂ から「持続可能なジェット燃料（SAF）」を合成するカーボンリサイクルのビジネスモデル検討を開始すると発表したからである（図 6）。



当初は、市場価格の燃料と正面から競争するのは難しいかもしれない。ただ、ゼロエミという付加価値と組み合わせればやって行ける可能性はありそう。

再エネが水素やアンモニア、次にメタンや合成燃料になってゼロエミを実現できる技術がこれで全部つながることになる。

— 以上 —

第46回

みえテクノロジーカフェ 運河について

～その種類と役割について～

日 時 2021 年 6 月 27 日（日）

場 所 ウェブ開催

ゲスト 米澤雅之 技術士（建設）



幹事 社会貢献委員会委員長
防災推進担当

中部本部幹事、企画委員会、
社会貢献委員会防災小委員
会及び建設部会委員、及び独
立技術士会交流委員会委員長

自己紹介；1952 年兵庫県西宮市生まれ、三重県育ち。1975 年横浜国立大学造船工学科卒業。同年に日本鋼管（株）に入社して商船・艦船の新造・修繕・改造、海洋事業に、2004 年に産業廃棄物リサイクル事業の JFE 環境（株）にて運送業に、2010 年に東北ドッグ鉄工（株）にて再び修繕船事業に、2015 年から（株）IHI 愛知工場で海洋・SPB-LNG に各々従事。この時期から三重県支部にお世話になっております。取得資格は、技術士の他に労働安全コンサルタント、溶接技術者特別級、1 級小型船舶操縦士、潜水土、運行管理者、防災士など多種類。趣味は、旅行、ドライブ、ゴルフ、ダイビング。飲み会を一期一会の縁として大切にしています。

1. はじめに

2021. 6. 19(土)に三重県支部 2021 年次会・第 2 回セミナーで LNG 船について講演さ

せて頂きました。2019 年代に我が国の造船所で数多く建造された LNG 船は拡張後の新パナマ運河の開通が大きな要因となっています。そこで、下記の観点で運河について皆さんにみえテクノロジーカフェで紹介したく纏めてみました。

陸地を削って造られた人工的な水路である運河は、自家用の手漕ぎボートで往来する細い水路から、海と海を結ぶ国際運河まで、規模も用途もさまざまです。また、ベネチア、オランダ等の日々の生活に密接した水路から、座礁、海賊問題等で話題となっているパナマ運河やスエズ運河の様に我が国の経済に大きな影響を及ぼす運河もあります。

NHK の大河ドラマの「晴天を衝く」で渋沢栄一がパリ万博へ向かう途中スエズ運河の建設に感心していましたが、日本ではすでに江戸初期に高瀬川、道頓堀は建設されましたし、江戸時代から明治時代に掛けて建設され伊達政宗の諡（おくりな）を取った我が国最長の貞山堀が建設されていました。そこでこれらにも触れてみました。

また、コンテナ船「エバー ギブン」がスエズ運河で座礁しエジプトと損害賠償の対象になるというトピックもあったので保険について述べてみました。

色々説明したいという思いから膨大な資料になってしまい、皆さんに内容が伝わったかが心配です。

2. 運河とは

運河（うなが）とは、船舶の移動のために人工的に造られた水路であり、河川・湖沼を利用しているものもあります。鉄道同様経路中に、橋梁や隧道なども見られます。産業革命以前は船舶を騾馬などが牽引したため、経

路に沿って曳舟道（トウパス、towpath、船曳道、牽引路）が設けられています。



1) 運河と船型

- ①カナダのセントローレンス海路を通航できるシーウェイマックス(全長 226m、幅 24m、喫水 7.92m)
- ②パナマ運河を通航できるパナマックス(全長 366m、全幅 49m、喫水 15.2m、最大高 57.91m)
- ③スエズ運河を通航できるスエズマックス(喫水 20m、幅 50m)

2) 特徴～運河の技術～

水の高低差を克服するためのしくみは、おもに次の 3 つがあり、どの技術も、産業革命で運河が急速に発展したイギリスで考案されました。

- ①ロック(閘門・こうもん)方式;船を水門(＝ロック)と水門で区切ったスペース、閘室(こうしつ)の中に閉じ込めて、スペース内の水の量を増やしたり、減らしたりすることで水位が上下します。水位が低いほうから上がるときは、閘門内に船を閉じ込めたあと、水を入れて、水位が高いほうと閘門内の水位を同じにし、逆に、下るときは、閘門内に閉じ込めたあと、閘門内の水を抜いてやれば水位が下がります。太平洋と大西洋をつなぐパナマ運河が代表的です。



- ②インクライン方式;急勾配の水路にレールを敷いて、台車に船を乗せて、ケーブルカーのように引っぱって上下させるしくみです。台車に直接船を載せるのをドライ式、水を入れた水槽(ケージ)に船を入れてケージごと台車に載せるのをウェット式といいます。

代表的なウェット式のインクラインであるベルギーのロンキエールのは、5パーセントの勾配で 68 メートルの高低差を 1,432 メートルかけて昇り降りします。

③リフト方式;ボート



(あるいは、シップ)リフト、運河エレベーターとも呼ばれます。船を浮かべた水槽(ケージ)をエレベーターのように垂直に上下させます。現存している最古のリフトは、1875 年に建造され、イギリスのトレント・メルセー運河とウェバー川の落差を超えるために造られたアンダートン船舶昇降機です。約 15 メートルを垂直に昇降するリフトで、このしくみの考案者アンダートンの名がつけられました。

船を入れる 2 つのケージがあって、それぞれピストンの上に載っています。ピストンの下には水が入ったシリンダーが付いていて、シリンダー同士はパイプでつながっています。このピストンとシリンダーの働きによって、片方のケージが上がれば、もう一方のケージが下がるようになっています。



3. スエズ運河とパナマ運河

「スエズ運河」、「パナマ運河」は、いずれもおもに船舶の移動のために人工的に造られた水路「人工運河」で、全ての国の船舶に対して国際条約で航行が開放されている「国際運河」です。



「スエズ運河」とは、中東・アフリカに位置する共和制国家のエジプトにある運河で、地中海と紅海を結ぶ国際運河です。

一方「パナマ運河」とは、北アメリカ大陸と南アメリカ大陸の境に位置する共和制国家のパナマにある運河で、太平洋とカリブ海を結ぶ国際運河です。

「スエズ運河」は、1869年に開通した全長約193kmの人工運河で、標高差のない2点を結ぶ「水平式運河」です。

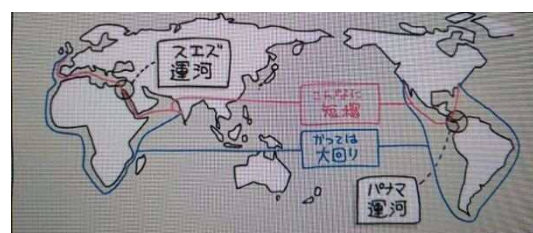


一方、「パナマ運河」は、1914年に開通した全長約80kmの人工運河で、海拔26mに造られた人工湖のガトゥン湖を経由するため、水位の異なる河川や水路で船を移動させるための仕切った空間の水位を上下させる装置「閘門(こうもん)」を設置した「閘門式運河」です。



スエズ運河		パナマ運河
水平式	構造	ロック(閘門(こうもん))式
1869年	開通	1914年
約193(完成当初164)km	全長	約80km
1万5,000隻	年間通航隻数	1万3,000~1万4,000隻
地中海と紅海を結ぶ	場所	大西洋と太平洋を結ぶ
幅77.5m(225(-3)m)	通航可能船舶	L294.1m×B32.3m×D57.9m-d12.0m L427m×B55.0m×D18.3m L330m×B33.5m×D25.9m
15万トンB32m×d16m		6.5万トンB32m×d12m
海水	運河の水の種類	淡水(熱帯雨林の雨水)

＜スエズ運河とパナマ運河の比較＞



多くのタンカーや、コンテナ船はこれらの運河を通航できるかどうかを基準に区分されており、拡張後の「パナマ運河」を通行できる、船幅55.0m、深さ18.3m、長さ427mの船を「パナマックスサイズ」と言い、「スエズ運河」を通行できる喫水20メートル以下または載貨重量トン数240,000トン以下かつ水面からの高さが68メートル以下、最大幅77.5メートル以下の船を「スエズマックス」と言います。「スエズ運河」は、通行可能な船舶の大きさ、総通行量ともに「パナマ運河」と比較して上回っています。

4. 日本の運河

日本は、周りを海に囲まれており、時代の要請に合わせて海運が発達したため、川船のための運河を造るよりも河口の港同士を結ぶ海運航路が開発された。その後、治水能力が向上し、江戸時代にかけて、地方政権(藩)が各地に出来て資本集中と城下町建設(都市化)が発生したため、

各地で河川改修や運河開削が行われ、川船流通が発達しました。明治以降は、速く大量に物資を運ぶことが出来る鉄道が発達したため、近代的な運河は六大都市の大量物流に関わる部分や国際貿易港周辺に主に造られました。明治初期には河川水運を念頭において河川が整備され、それに伴い運河も整備されたが、明治中期以降河川水運はほぼ放棄され、運河の重要性も低下しました。それでも都市の沿岸部を中心に運河は命脈を保ち続けましたが、昭和時代後期になると、トラック流通が発達したため、堀や運河を埋め立てて道路にする動きが活発化した。現在の街の幹線道路がかつての堀の跡だったところも多いです。

1) 内陸水運

①高瀬川（京都市）



②道頓堀（大阪市）



③利根川（関宿～鬼怒川合流点）（千葉県・茨城県）；日本における初期の大規模運河事業のひとつであったとも言える。1654年の開通で、開削区間は約25km。

④利根運河（千葉県）；利根川と江戸川を結ぶ水運用の運河で1890年の

開通。東北地方からの物資を東京に運ぶ際房総半島を短絡する目的で造られました。日本初の西洋式運河。全長は約8km。

2) 外洋からの荒波を避け、物流の安定と集中を目的とした運河；貞山運河・東名運河・北上運河（宮城県）野蒜（のびる）築港の建設に合わせて開削、または既存の水路を改修してできた運河群です。北上川河口から松島湾を経て阿武隈川河口までの仙台湾沿いにあり、岩手県の北上川水系、仙台平野の全ての水系、福島県中通りの阿武隈川水系など、多くの水系から川船のまま海船の拠点港に物流を集中させる目的で造られました。3つの運河を合わせた総延長は約49km。

日本の運河の中では最も長いです。



貞山運河（ていざんうなが）は、宮城県の仙台湾沿いにある運河である。江戸時代から明治時代にかけて数回の工事によって作られた複数の堀（運河）が連結して一続きになったもので、「貞山堀」とも呼ばれています。その名称は明治時代の改修時に伊達政宗の諡おくりな（瑞巖寺殿貞山禅利大居士）にちなんで名付けられたものです。多賀城市、七ヶ浜町境界付近の貞山運河（2013年8月撮影）



⑤みえテクノロジーカフェでは紹介しませんでした。私の実家の白子では白子港内側に内海があり更に実家の裏側に手漕ぎの櫓のある和船が通航できるような水路跡がありました。今は埋め立ててしまいましたが、地番が違う土地になっています。

3)

海路（海船航路）の短絡路

- ・音戸の瀬戸（広島県）
- ・万関瀬戸（長崎県）
- ・船越運河（愛媛県）



5. パナマ運河の拡張

パナマ運河を通過できる船舶の最大のサイズはパナマックスサイズと呼ばれています。開門のサイズにより、通過する船舶のサイズは、全長：294.1メートル、全幅：32.3メートル、喫水：12メートル、最大高：57.91メートル以下に制限されていたが、2016年6月26日の拡張工事完成後は、それぞれ最大全長：366メートル、全幅：49メートル、喫水：15.2メートルまでの航行が可能となり、通過可能船舶の範囲が大幅に拡大しました。

拡張工事の完成によって既存の往復2つのレーン（設計開門サイズ：長さ320m、幅33.5m、深さ25.9m ※深さは開室毎に違い最浅部で12.55m）に加え、第3レーン（開門サイズ：長さ427m、幅55m、深さ18.3m）をあわせ、3つの航路が運河通航できるようになりました。

6. 船舶の保険について

1) 船舶の保険の概要

船舶にかかわる事業を営むにあたっては、沈没、座礁、火災、衝突といった危険によって、大切な財産である船舶が損傷する等の思いがけない事故に遭遇することがあります。

また、船舶自体の損害だけにとどまらず、船舶が海難によって稼働できなくなった場合、その間運賃や用船料等の収入が途絶えることにもなります。時には他船や港湾設備と衝突して多額の損害賠償を要求されることも起こり得ます。

このような海難事故の結果によっては、事業自体に大きな影響を与えかねません。こうした不測の事態に備えて、リスクマネジメントの一環として、船舶保険契約し、一定のコスト（保険料）を負担することによって不測の事態による損害発生リスクを転嫁することが有効と考えられます。

保 険 の 種 類	
船体保険	全損保険金や船体損傷の修繕費
	船底を確認するダイバー費用や損傷箇所の修繕費
	離礁させるためのタクボートの費用・レスキュー費用
船主責任（第三者賠償＝P&I）保険	施設閉鎖による収入源の賠償
	港湾設備の損害賠償
	沈没した船の残骸撤去費用

2) 主な損害

(1) 全損&修繕費

- ①沈没、転覆、座礁、座州、火災、水を除く他物との衝突または共同海損行為によって生じたもの
- ②爆発によって生じたもの（水雷、爆弾その他爆発物として使用される兵器の爆発を除く）

(2) 修繕費

- ①地震、津波、噴火または落雷
- ②荒天

- ③主機、補機その他の機器の事故
- ④船体に存在する欠陥による事故
- ⑤荷役作業による事故
- ⑥船長等の故意・過失
- ⑦修繕者または用船者の過失によって生じたもの

3) 船主責任保険 (P&I 保険)

(1) 人に関する賠償責任、費用に関わるもの

- ①人の死傷または疾病に対する賠償責任
- ②人命救助費、遺骸搜索費、遺骸・遺骨・遺品引渡し費、および弔祭費
- ③船長・乗組員の送還費用
- ④船長・乗組員の代人派遣費用

難民・密航者等の下船に要した費用 等

(2) 財物に関する賠償責任、費用に関わるもの

- ①他船および他船上の積荷・その他財物に与えた損害に対する賠償責任
- ②他船および他船上の積荷・その他財物に損害を与えた場合の下記(5)の費用に対する賠償責任
- ③港湾施設その他固定物、移動物、海産物等の対象船舶外に存在する財物に関する賠償責任
- ④対象船舶内の使用人等の所持品に対する賠償責任 等

(3) 船骸・残骸撤去費用に関わるもの

- ①他船および他船上の財物の船骸・残骸撤去費用

7. まとめ

運河について説明させて頂きました。イギリス発明された高度差を克服するための3種類の方式について述べ、周囲を海に囲まれたわが国では長距離の運河は無かったものの歴史のある運河について少し述べさせてもらいました。

また、世界の経済に重大な影響を与えるパナマ運河とスエズ運河についても説明させて頂きました。両運河を通航することにより航海日数は短縮できるが運河の通航料は上昇する一方で決して安いものではないですが、経済的効果は大きいです。拡張されたパナマ運河を通過できる船舶が増えたことの効果は顕著でとりわけ今まで通過できなかったLNG船のほとんどが通過できることになった事は大きいです。

最後に現在の保険の原型というべき船舶の保険についても述べました。皆さんが考えている様な自動車保険の様にその過失割合によって負担するということではなくロイズが発足した当時の自然災害が多く荒天による船舶の事故については保険でカバーできていることになっていることも説明しましたし、船舶の事故はその影響が大きく第三者賠償保険は絶対入っていないと対応できない事、また、船舶が沈没した場合に航路に係る場合はその引き上げまで要求される場合があることも説明しました。

以上の様な事を説明したつもりですが、皆様に伝えることが出来れば幸いです。

— 以上 —

会員近況報告

池田和人 技術士（化学、総合技術監理）



会長表彰を受けて

1. はじめに

この度は、過分な表彰を賜り、身が引き締まる思いでございます。この表彰は、技術士と日本技術士会

の発展に努めよとの鼓舞激励だと受け止めています。今後は、微力ではございますが、役目を全うすべく、これまで以上に研鑽努力して参る覚悟でございます。

私事で恐縮でございますが、私は、2010年に化学部門の技術士、2011年に総合技術監理部門の技術士となり、現在、中部本部幹事、統括本部化学部会幹事、中部本部化学部会代表幹事、中部本部三重県支部幹事、中部本部 CPD 委員会委員、中部本部活用促進委員会委員を務めさせていただいております。技術士は、「知る人ぞ知る難関資格」でございますが、言い様を変えれば「あまり知られていない難関資格」でございます。今後、技術士と日本技術士会の評価度向上と認知度向上に向け、持続的で効果的な施策を実行していきたいと考えています。

2. 人を育てる

ここ最近の世界の現況を見ますと、かつて世界を席巻した日本企業は大きく力を落としました。例えば、スイス IMD の世界競争力ランキング 2021 によりますと、日本の競争力は、昨年より多少順位を上げたものの、いまだ先進諸国の末席を争う始末でございます。2000 年に世界 2 位であった日本の一人当たりの GDP は、今や世界 23 位に落ち込み、これまで「科学技術立国」

を称してきた日本は、今や他国主導の技術に追いつくことで精いっぱい状況でございます。

一方、デジタル化や脱炭素の時代になりまして、成長は人が作るものでございます。よって、日本の技術力ひいては競争力を高めるためには、人を育てる必要がございます。私は、技術士の評価度向上と認知度向上に向けた施策は、技術士のためというより、日本の競争力向上のためになされるべきではないかと思えます。技術士そして日本技術士会の日々の努力が社会に認められ、技術士取得が全技術者の目標になれば、技術者は技術士取得を目指して努力するようになります。そうなれば、技術者自らの意欲に任せて自然に人が育ち、国力が自然にレベルアップ致します。

技術士試験は、決してテクニカルな側面に特化されるものではございません。世界情勢を知り、業界を知り、そして何より課題を抽出する能力と解決する能力がなければ技術士にはなれません。全国の技術者が技術士を目指してこれら広い分野を学び、技術士自らが日々の研鑽努力を積み、企業や団体あるいは国のかじ取りを担う技術者人材が育つのではないかと思います。

3. 最後に

私は、この 6 月 30 日に、29 年間勤めた化学メーカーを退職致しました。今後、独立技術士として世に尽くせないかと考えています。会社を退職した当時は、将来への不安がぬぐい切れませんでしたでしたが、幸いにも仕事が見つかり、今は、未来の可能性に希望を持とうと思っています。

この度は、過分な表彰を賜りまして、本当にありがとうございました。今後も、微力ながら、技術士そして日本技術士会の発展のために尽く

す所存でございます。皆様方には、今後も引き続きお世話になりますが、どうぞ宜しくお願い申し上げます。

ー以上ー

堀 豊 技術士（化学）



会長表彰を受賞して＞

三重県支部において副支部長社会貢献委員「みえテクノロジーカフェ」幹事を仰せつかっております堀豊です。この度、長年にわ

たり中部本部における活動を通して会の発展に貢献したことで、寺井和弘会長より表彰を拝受いたしました。たいへん名誉なことで、導いてくださった関係諸氏に感謝いたします。

技術士補として昭和 63 年（1988 年）に入会し、平成 22 年（2010 年）より技術士として活動し現在に至っております。技術士受験の経緯、技術士会活動を通じての所感を述べたいと思います。

技術士資格があると知ったのは大学修了し社会人 1 年目に大学の恩師からいただいた手紙でした。企業出身の先生で、手紙には自分も若い頃、会社を作って社長になってやろうかと考えたり、転職を考えたり、転任を運動してみたりバタバタしたことがあるが、今から考えてみると自分の気持ちなど小さなもので、自分以外のところで時代が大きくかわってゆく。時代の変化に耐える実力、時代を先取りする才覚は、勉強だけでは無理で毎日の苦勞の積み重ね以外に作る方法はない。10 年くらいのスパンで考え、技術的な総説が書けるようになること、また技術士を目標とするのもよい。期待していると書かれていました。その年に 1 次試験受験、合格し技術士会に入会しました。

入会するとすぐに中部支部主催の試験合格者の 1 泊 2 日の研修会（今池の千種会館にて）の案内が届き参加しました。昼間は先輩技術士による会の案内、先輩技術士体験談、夜は飲みながらの懇親会でした。私自身も自己紹介と抱負な

どを発表しました。講師を務められた加藤央技術士、渡邊好啓技術士より中部青年技術士会への入会の勧誘があり参加させていただくことになりました。技術士補として活動ができるようにと指導技術士として眞田外樹技術士（当時5代目支部長、故人）を紹介いただき技術士補として登録しました。思い出に残る出来事として登録した1988年の中部支部忘年会に参加した時のことを述べます。参加者は自分と比べ父子ほどの差があり自分ひとりが浮いている感じがして場違いなところに来たと後悔していたところ、臼井一男技術士（故人）より声をかけられ、これからは若い人が活躍し頑張ってくださいと言われました。後ほど知ったことですが元3代目支部長、機械部門技術士で鉛筆1本、機械スケッチを書き技術士事務所を営んでいるとこのことを知らされ、よほどの見識がないとできないことだと感心し自分もそうなりたと思いました。

勤務会社では入社以来、27年間開発部門に所属し技術士としての業務内容を意識して仕事に取り組みました。0から1を創るテーマあるいは誰もがいきらめてできなそうにない難題を引き受け取り組んでいました。修羅場も幾度か経験しましたが好きこそ物の上手なれ、上司の理解と仲間のおかげで特許出願も累積90件近くしました。1988年、有害なアスベストを含まない不燃壁面板を発明製品化し、20年の時を経て勤務会社1番の収益製品に育てあげてきたことと、その過程で会社のコアとなる後輩が育ったことはたいへん喜ばしいです。苦労して新製品を出して喜びもつかの間、PR営業活動とクレーム対応活動の繰り返しでした。

眞田技術士が1998年に病気でお亡くなりになり、その後、濱田偉技術士（故人）にご指導いただくことになりました。きっかけは1991年に

碧南火力発電所が移働前の中部支部見学会で一緒したことがご縁でした。以後たいへんお世話になりました。海軍ご出身で眼光鋭い時がありますが話すとやさしい、柔らかで誠実な人柄の方でした。ケイ酸カルシウム耐火材・保温材を世界で初めて開発工業化されました。晩年は若い時分に業務中吸い込んだアスベストが原因で肺がんとなり2014年にお亡くなりになりました。濱田技術士のご指導のもと30歳代で2次筆記試験には合格できましたが面接で不合格となりました。濱田技術士曰く面接で落ちることはめったになく、世間話程度と言われ安心して臨みましたが、私にとっては難問でした。当時技術士はコンサルティングエンジニアといわれ、もしあなたが指導する企業の社長に内密に相談をされたとき、どのように対処しますか。今世間で問題となっている大手企業の品質不正問題のようなことで、若輩の自分には建前的な答えしかできませんでした。今から考えると正解を求めているのではなく、どのように対処するのか見ていたのだと思います。たぶん百戦錬磨の濱田技術士なら世間話程度にこたえられた内容であったのかもしれませんが。当時筆記試験は真夏のエアコンのない名古屋工業大学で汗だくで腕が痺れるほどに書きまくる試験でしたが、それをまた最初から受けなおすのは酷な試験でした。40代後半2回目の面接試験では合格できました。面接の直前に濱田技術士より私の携帯に電話があり、本日（12月8日）は真珠湾攻撃の日だから必ず合格すると言われ緊張がほぐれ質問にも適格に答えられ、面接終了直後に合格の実感がありました。機会があり、アメリカ合衆国ハワイ州のアリゾナ記念館を訪れ、日本軍に撃沈された戦艦より今も漏れる海面のオイルを見て、黙祷を捧げるとともに科学技術の平和利用の重要性を痛感しました。

いままでたくさんの技術士の方とお会いしましたが、建設部門は別格として素晴らしい経歴業績等、参考にはなるがマネは出来ないということです。すなわち技術士は名称独占で業務独占ではないため、それぞれ専門分野、得意分野で独自の業務開拓をされています。専門分野で継続研鑽しないと時代の流れについて行けず、自ら動かないとおのずと仕事も来なくなるのではと思います。技術士会でのCPD、人脈は俯瞰的な見識を得、弱点を克服する意味で重要と思います。今後、他の学協会、企業セミナー等との連携など実のあるCPDメニューの充実が望まれます。

技術士補時代は勤務先の愛知県にて参加することを主体に活動をおこなっていましたが、技術士登録後（化学部門高分子製品）には他の学協会幹事、三重県支部活動も加え主催側での活動も行っています。試験事業支援委員会で技術士試験本部員（前年まで）、中部化学部会幹事を仰せつかっています。

勤務会社においては8年前より安全、化学物質管理、環境法令業務を担っています。人体の動脈と静脈、新陳代謝と同じく企業もどちらが欠けても持続的に生存できません。今後さらなる社会貢献と生涯現役プロフェッショナルを目指し 自らと家族の健康第一に考え取り組んでゆきたいと考えています。

今年はコロナ禍で会長賞授与式懇親会はなく賞状と記念品発送でした。いただいた記念品の香蘭社製湯呑でおいしい四日市の水沢茶とお菓子をいただきながらオンライン「みえテクノロジーカフェ」を楽しんでいます。



一以上一

中部本部及び三重県支部幹事

米澤 雅之 技術士（建設部門）

＜会長賞を受賞して一技術士としての19年、中部本部で6年＞



1. はじめに

このたび会長表彰をして頂き、誠に光栄なことで大変ありがたく思っています。中部本部及び三重県支部からご推薦頂き感謝して

おります。はじめに自己紹介と技術士取得の経緯と、その後19年の活動を述べたいと存じます。

私は1975年に横浜国立大学造船工学科卒業後、日本鋼管株式会社入社以来約20年横浜東神奈川の浅野船渠で修繕船・改造船に従事し、その後横浜市の都市計画による造船所の閉鎖で鶴見工場に移転し、4年間艦船修繕・新造に従事、その後4年間丸の内の本社で船舶から離れ海洋事業に従事しました。その後、6年間JFE環境（株）（産業廃棄物リサイクル事業）で運送業に従事しました。2010年4月に宮城県塩竈の東北ドック鉄工（株）でもう一度修繕船に従事しました。2011年3月11日に東日本大震災で造船所は津波被害を受けましたが、40日で復興させました。2015年7月に㈱IHI愛知工場よりの召喚で東北ドック鉄工（株）の役員を辞し㈱IHI愛知工場に赴任し海洋・SPB-LNGに従事2018年11月の㈱IHI愛知工場の閉鎖後もIHI建造のSPB-LNG TANKのJMU津事業所への引き渡しを完了する2019年7月まで㈱IHIの責任者としてしんがりを勤めました。

2. 技術士になった経緯

1995～1997年に横須賀の住友重機械工業（株）横須賀造船所前の海域で実施した

メガフロート実証実験プロジェクト

Phase Iに引き続き、1997～2000年に、1,000mの浮体建設と空港機能を検証したメガフロート実証実験プロジェクト Phase IIを体験し、跡利用として、三重県のか所湾にマリナーパーク・くまの灘という海釣り公園を建設するため土木施工1級管理技士の資格を取得し、引き続き静岡市に清水港海釣り公園も設置しました。その後羽田空港再拡張事業でD滑走路を浮体工法で実現するため、技術士建設部門（鋼構造）を2002年に取得しました。

3. 技術士としての活動

2002年4月に（公社）日本技術士会に入会し、勤務先の関係で東京都や神奈川県に所属しました。2010年4月から東北本部に所属しました。2015年7月から、㈱IHI愛知工場にお世話になり、海洋・SPB-LNG工事に従事すると同時に（公社）日本技術士会中部本部にお世話になりました。

2017年から三重県支部幹事で社会貢献委員会委員長と、中部本部社会貢献委員会防災支援小委員会委員としても活動させて頂きました。東日本大震災の経験者として防災士と防災助士の資格を取得し防災の人としても活動させて頂いています。2019年から独立技術士会交流委員会委員と企画委員会委員としても活動し、中部本部としての活動は4年間ですが、いくつも委員会で活動したおかげで活動期間が累積されおかげさまで表彰して頂きました。本年6月からは中部本部幹事と独立技術士会交流委員会委員長としても活動しますので、宜しくお願いします。伊勢型紙のアマビエ護札とWebのお陰で複数の委員会で活動させて頂き、また建設部会の委員としても今後活動させて頂きます。

本年の会長表彰式は残念ながら新型コロナウイルス感染症「COVID-19」の感染拡大で参加できませんでしたが、表彰状を携えて近所の写真館

で写真撮影して頂き表彰式に出席した気分を少し味わいました。 今後も宜しくお願いします。

2021 年 9 月 8 日

「技術士 CPD 活動実績の管理及び活用制度」の開始

— 以上 —

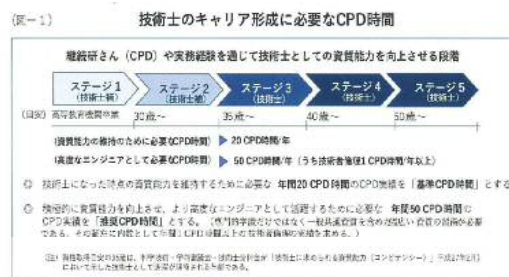
1. 技術士 CPD 活動実績時間の技術士登録簿への記載
2. 技術士 CPD 活動実績名簿の作成及び公表
3. 「技術士（CPD 認定）の認定」
 - ・ 年間 20CPD 時間以上 50CPD 時間未満
「基準 CPD 時間達成者」
 - ・ 年間 50CPD 時間以上
「推奨 CPD 時間達成者」
4. 技術士 CPD 活動実績証明書の発行
5. 申請手続き

・ 技術士 CPD ガイドライン

https://www.engineer.or.jp/c_topics/008/attached/attach_8032_1.pdf

・ 技術士 CPD 管理運営マニュアル

https://www.engineer.or.jp/c_topics/008/attached/attach_8032_2.pdf



今後の行事予定など

★セミナー★

2021年度 第4回セミナー

日程: 2022年1月8日(土)PM

場所: 三重県教育文化会館(津市)

(ウェブ開催の場合もあります)

会員講演

「IT関連」

橋川勝規 技術士(情報工学)

特別講演

三重大学 副学長

今西誠之様

★みえテクノロジーカフェ★

第47回

日程: 10月31日(日)15:00-17:00

場所: ウェブ開催

題目: ヨットのお話～進化し続けるヨット～

ゲスト: 山口昇吾 技術士(機械)

第48回

日程: 12月26日(日)15:00-17:00

場所: ウェブ開催

題目: 「さあ 守りを固めよう～きたるべき災害に向けて～身近でできる防災対策～」

ゲスト: 米澤雅之 技術士(建設)

★中部本部行事★

◎冬季講演会

日程: 2021年12月4日(土)

場所: 安保ホール

13:20～16:50

◎春季講演会(技術士業績・研究発表会)

日程: 2022年3月5日(土)

場所: ウィンクあいち 1001

13:20～16:50

公益社団法人 日本技術士会 中部本部 三重県支部

「技術士みえ」発行及び責任者

竹居信幸 技術士(建設、総合技術監理)

〒510-0025 三重県四日市市東新町2-23

東邦地水(株)内

TEL 059-331-7311

FAX 059-331-8107

E-mail: nobuyuki-takei@chisui.co.jp

広報委員

西方伸広 技術士(機械)

井上正喜 技術士(機械、総合技術監理)