

TODAY



着任のご挨拶

経済産業省 製造産業局 金属課
金属技術室長 川村 伸弥

本年（令和5年）7月4日に、経済産業省 製造産業局金属課金属技術室長を拝命いたしました川村伸弥でございます。製造産業局での業務は、ファインセラミックスを担当させていただいて以来約20年ぶりとなりますが、これまでに、金属産業とも関連の深い資源エネルギー・環境分野や、通商関連の業務を担当させていただいております。産業・社会活動を広範に支える金属産業の競争力強化と発展に向け、技術面から業務に携わることを大変ありがたく感じております。着任以来、これまで多くの皆様とお会いし、実際に製造現場や工場なども訪問させていただく中で、現状や多くの諸課題をお聞かせいただき、関係の皆様はこの場をお借りし心より感謝申し上げます。国内外問わず、困難な課題が山積する中、政策支援などを通じ金属産業に貢献できるよう努力してまいり所存ですので、何卒よろしくお願いいたします。

ご高承のとおり、資源高や円安などにより、厳しい向かい風を受けている金属産業でも、カーボンニュートラルや経済安全保障といった近年のグローバルな課題にいかに対応していくかが極めて重要なポイントとなっております。気候変動対策は地球規模で取り組むべき最重要課題の一つであり、我が国産業部門のCO₂排出の4割を占める鉄鋼業の排出削減は喫緊の課題となっております。水素還元製鉄技術を開発、確立し、社会実装に繋げていくため、グリーンイノベーション基金による支援を開始しており、引き続き、製鉄プロセスの脱炭素化を実現するための研究開発を一層加速化するべく取り組みを強化していきたいと考えております。

多様な金属分野において、リサイクルを含む資源循環経済を確立することも資源小国の我が国にとり極めて重要です。鉄源としての鉄スクラップの確保・活用や、アルミニウムスクラップのアップグレードリサイクルのための基盤技術の開発など、今後も取り組みを続けてまいります。

また、自然災害や新型コロナウイルスの感染拡大、地政学リスクなどの外的要因によるサプライチェーン上の脆弱性の顕在化や、先端技術を巡る覇権争いの激化といった経済活動の急速な緊張の高まりの中、昨年の経済安全保障推進法の成立を受け、電動車や風力発電設備用など今後世界的に需要拡大が期待される永久磁石についても、サプライチェーンの強化や、研究開発の加速、リサイクルの推進といったさまざまな取り組みを後押ししていく方針です。

グローバルな競争環境が変化する中、通商を巡る課題についても、取り組みを一層強化していくとともに、脱炭素化と過剰生産問題に対応するための鉄鋼及びアルミニウムに関するグローバルなアレンジメントや、EUにおける炭素国境調整措置などの脱炭素化と貿易という新たな課題を巡る動きも活発化しており、我が国としても国際的な動きを注視しつつしっかりと貢献してまいります。

これら以外にも多くの取り組みや課題がある中で、産業や社会を支える技術は、国際情勢の複雑化や経済社会構造の変化により世界が経済力の増強を続ける現在でも、我が国産業が優位性を維持・向上させていく上で引き続き不可欠なものであると考えております。その中で、金属分野の技術開発は、産業競争力の強化はもとより、広範な経済・社会活動におけるさまざまな課題の解決につながる重要な役割を担っているものと考えております。引き続き皆様と御相談させていただく中で、課題解決に向け共に全力で取り組んでまいりたいと考えております。今後とも何卒よろしくご指導・ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

高圧水素蓄圧器への高強度低合金鋼の適用に関する検討 (2)

— 高圧水素蓄圧器に関する試設計と技術動向調査 —

(一財) 金属系材料研究開発センター 鉄鋼材料研究部 高町 恭行 前田 尚志
 日本製鉄株式会社 鉄鋼研究所 山村 実早保 大村 朋彦 中山 英介

先月号では、高圧水素蓄圧器への高強度低合金鋼の適用について、「高強度低合金鋼の水素環境下特性評価」に関する成果の概要を報告した。水素ステーションに設置される高圧水素蓄圧器のコスト低減を実現するためには、大容量化(大径化・薄肉化)による1箇所あたりの設置本数の削減が最も有効であることを報告した。蓄圧器へ使用する鋼材は、高圧水素環境下における引張強度 1000MPa 以上で水素適合性があること、それと同時に疲労き裂進展特性も担保する必要があることを明らかにした。これらの特性を満足する高強度低合金鋼の候補として、Mo-V 添加鋼と SNCM439 が有望鋼材であることを示した。

今月号では、その続編として「高圧水素蓄圧器に関する試設計と技術動向調査」について報告する。

3. 高圧水素蓄圧器に関する試設計と技術動向調査

3.1 高圧水素蓄圧器の試設計と製造コスト調査

最初に、高圧水素蓄圧器の大容量化を伴う試設計とその際の製造コストの低減効果について検討した。また、高圧水素蓄圧器の技術動向調査により、蓄圧器製造コストに関して下記のことが判明した。

- 1) 蓄圧器コスト=鋼材コスト+製造(加工)コスト
- 2) 製造(加工)コスト:口径が多少大きくなっても(蓄圧器メーカー既存設備で扱える範囲内であれば)製造コストは大差がない。
- 3) 鋼材使用量は概ね 容量×圧力/鋼材強度に比例し、一本あたりの容量を変えても鋼材使用量は大差がない。

図1には、水素ステーションの1ディスプレイあたりの蓄圧器構成を変更(現行 300ℓ×3本⇒変更後 450ℓ×2本)したコスト削減効果について事前検討した結果を示す。水素ステーションに設置する水素蓄圧器を現行 300ℓ×3本から 450ℓ×2本(総容量変更なし)へ変更することで、トータルコストを 23~30%低減できることが試算された。

図2には、鋼材の特性データを用いて高圧水素蓄圧器の試設計で得られた蓄圧器容量 450ℓにおける組立図の一例を(両端口絞り構造)、表1には、試設計によるコスト低減効果について検証した結果を示す。試設計は、蓄圧器容量 450ℓ 蓄圧器について KHKS 0220 に準拠して設計成立することを確認している。表1より、Mo-V 添加鋼および高強度 SNCM439 鋼を

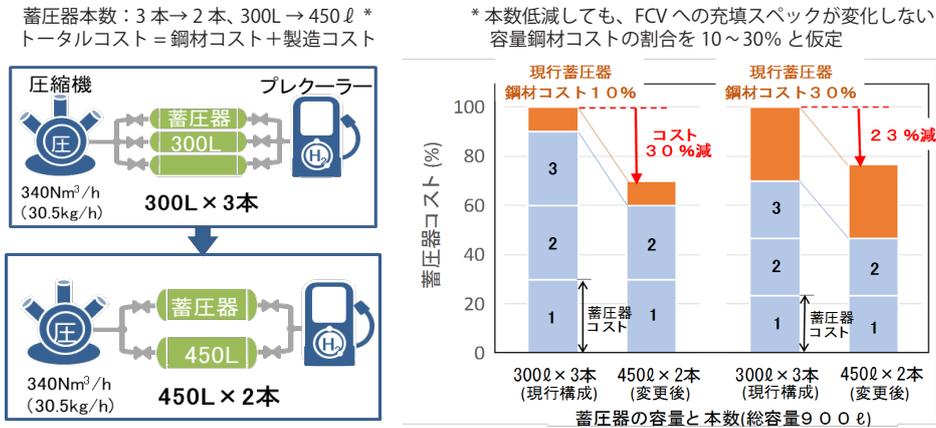


図1 蓄圧器コスト削減のための1ディスプレイあたりの蓄圧器構成の変更

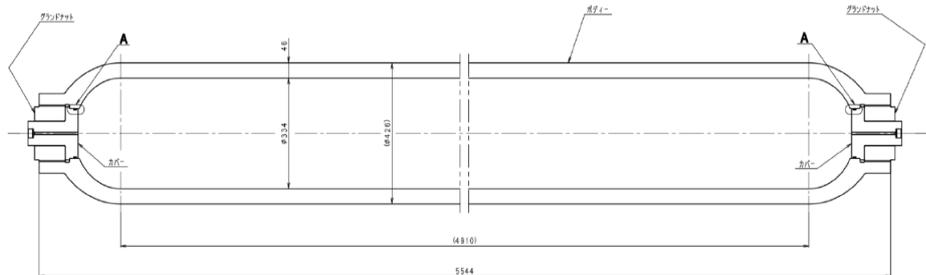


図2 両端口絞り型の蓄圧器の試設計組立図面

(評価材 : Mo-V 添加鋼 (TS:1100MPa)、SNCM439 (TS:1000MPa)
 設計条件: 圧力変動: 50⇔82MPa、初期想定き裂深さ: 0.533×10⁻³m
 鋼材評価内容: SSRT、水素環境下破壊靱性試験 (KIH)、疲労き裂進展試験)

表1 両端口絞り型の蓄圧器寸法、製造コストおよびトータル重量の低減効果

| | 引張強度 (MPa) | 容量 (ℓ) | 内径 (mm) | 外径 (mm) | 肉厚 (mm) | 長さ (mm) | コスト比 (%) | | 蓄圧器重量 (kgf) | | トータル重量比 (%) |
|----------------|------------|--------|---------|-------------------|------------------|---------|----------|----------|-------------|----------|-------------|
| | | | | | | | 蓄圧器1本 | トータル | 蓄圧器1本 | トータル重量 | |
| 既存鋼 SNCM439 | 880 | 300 | 314 | 406 | 46 ¹⁾ | 4300 | 100 | 100(3本) | 1650 | 4950(3本) | 100(3本) |
| 高強度 低合金鋼 | 1000 | 450 | 342 | 426 ²⁾ | 42 | 5312 | 113.8 | 75.9(2本) | 1996 | 3992(2本) | 80.6(2本) |
| | 1100 | 450 | 348 | 426 ²⁾ | 39 | 5148 | 110.8 | 73.9(2本) | 1811 | 3622(2本) | 73.2(2本) |

1) 試作メーカーの焼入肉厚限界 (硬度確保) 2) 国内シームレス鋼管の製造限界 (外径 426mm)

前提とし、水素ステーションの1ディスペンサーあたりの蓄圧器構成を変更(現行 300ℓ×3本⇒変更後 450ℓ×2本)した結果、引張強度 1100MPa 級では、トータルコストは 26%程度、トータル重量は 27%程度低減されること、引張強度 1000MPa 級ではトータルコストは 24%程度、トータル重量は 20%程度低減されることが判明した。また、高強度低合金鋼の採用により、水素蓄圧器の薄肉化が可能となり、熱処理工程における材質均質化が期待できる。

3.2 高圧水素蓄圧器に関する技術動向調査

3.2.1 国内外の水素ステーション建設動向

表2には、国内外における直近の既存データから、水素ステーション(HRS)の建設動向について調査した結果を示す。現状の国内外の水素ステーションは、アジア(日中韓)、欧州、北米で建設されている。2022年度現在では、アジア地域における建設が半数以上を占めている。北米、欧州地域では、2030年に向けて水素ステーション建設は大幅に増加する目標を掲げていることがわかった。この調査結果から、高圧水素蓄圧器の需要は今後大幅に伸びることが推察される。一方、中国はFC車におけるタンク圧力は、中圧(圧力 35MPa)を中心に採用されていることから、高圧水素蓄圧器の需要は少ないことが推測される。

図3には、2030年~2050年における車種別(FCV、

表2 国内外の水素ステーション建設数の動向

| | 2020年 | 2022年 | 2025年 | 2030年 | 2050年 |
|----|-------|-------|-------|-------|--------|
| 日本 | 162 | 184 | 320 | 900 | |
| 韓国 | 88 | 170 | 450 | 660 | 2,000 |
| 中国 | 118 | 250 | 300 | 1,000 | |
| EU | 203 | 250 | 1,500 | 3,750 | 33,000 |
| 米国 | 75 | 165 | 1,000 | 4,300 | |

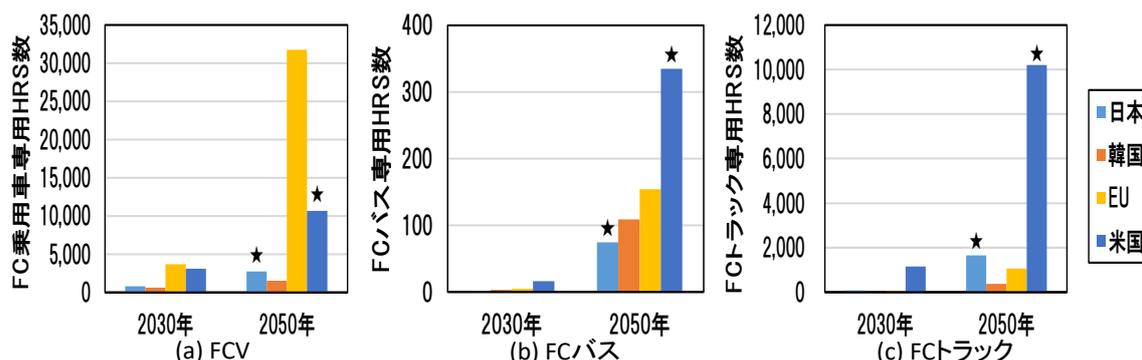


図3 車種別の水素ステーション建設目標数の予測結果

FCバス、FCトラック)水素ステーション建設動向について調査した結果を示す。図中の★は、現状調査した結果、具体的なデータが存在しないため、現状の各国の車種別保有台数に、2050年で車種の保有率が示されているFCV(日本 16.79%)、FCバス(EU25%)、FCトラック(EU21%)のデータと同等と仮定して推定した結果である。2030~2050年、水素ステーション建設は、日本および米国では、FCV用の他に、FCバス用、FCトラック用が、韓国では、FCバス用が、EUではFCV用、FCバス用が、大幅に増加することが見込まれる。すなわち、高圧水素蓄圧器の設置台数は、FCV水素ステーションのみならず、今後、FCバスおよびFCトラックに対応した水素ステーションの建設ニーズが多くなると推察される。また、FCV用の水素ステーション設置予定数は、米国やEUで、日本の4~15倍程度に、FCバスでは2~5程度に、FCトラックでは、米国が日本の6倍になることが推測される。すなわち、今後、高強度低合金鋼を採用した高圧水素蓄圧器は、国内だけでなく米国やEUへの展開が有望視されることがわかる。表3には、車種別の1ディスペンサーあたりの高圧水素蓄圧器の構成(容量×本数)を示す。ここで、高圧水素蓄圧器1本、現状容量300ℓを基準とした場合、水素充填に必要な最小限の本数は、FCV、FCバス、FCトラックでそれぞれ3、7、14本となる。これに対し、前節で述べた高強度低合金鋼を水素蓄圧器に採用し、容量450ℓを基準とした場合、1ディスペンサーあたりFCV、FCバス、FCトラックで、高圧水素蓄圧器の設置削減本数はそれぞれ1、2、4本となる。前節で示したFCVステーションのみならず、FCバスやFCトラックに対する水素ステーションでも蓄圧器設置本数削減による建設費用のコスト削減効果が見込まれる。今回、高圧水素蓄圧器の大容量化による蓄圧器本数削

表3 車種別の1ディスペンサーあたりの水素蓄圧器の構成

| 車種 | 車両 | | | 水素高圧蓄圧器(1ディスペンサー) | | | | |
|--------|---------------|--------------|---------------|-------------------|-----------|-----|-----------|----|
| | タンク圧 (MPa) | タンク容量 (ℓ) | 水素充填量 (kg) | 蓄圧器圧力 (MPa) | 現状 | | 大容量化 | |
| | | | | | 容量 (ℓ) | 本数 | 容量 (ℓ) | 本数 |
| FCV | 70 | 154 | 6 | 82 | 300 | 450 | 3 | 2 |
| FCバス | | 616 | 24 | | | | 7 | 5 |
| FCトラック | | 1540 | 60 | | | | 14 | 10 |

減の検討は大容量450ℓを前提としたが、製造可能な限界まで大容量化を行うことができれば、さらなる設置本数の削減が期待される。蓄圧器本数の削減は、バルブ類、計装品、付属配管などの削減つながることから、更なるコスト低減効果が期待される。

3.2.2 水素蓄圧器製造規格に関する情報収集

高合金低合金鋼を採用した高圧水素蓄圧器の米国、EUへの海外展開(製品としての高圧水素蓄圧器および鋼材としての輸出)は、今後の水素ステーション建設数(蓄圧器設置本数)から見て、有望な市場となると推察される。そこで、本項では高強度低合金鋼を用いた水素蓄圧器や蓄圧器用鋼材の輸出を前提にした場合、海外技術基準・規格類に関する調査を行うとともに、日本の規格類と比較し、海外輸出への課題について整理した結果を表4に示す。ISOでは合金成分の含有量を規定、ASME(米国)規格(Sec.VIII div.3)では適用可能な鋼材をリスト化、EN規格(欧州)では、引張強さ $\geq 950\text{MPa}$ 以上の鋼材を使用する際は、別途試験が必要である。以上より、JIS材や開発高強度合金鋼を海外で現状のまま適用ができないことが判明した。また、海外蓄圧器メーカー(FIBA)へのヒアリング結果から、新鋼種を採用する場合は、疲労き裂進展速度の確認が重要になること、ASMEのCode Caseに準じた試験が必須になることが判明した。

4. おわりに

高圧水素蓄圧器の大容量化による水素ステーションの建設コスト低減を実現するために、本事業で得られた研究開発成果を以下に示す。

- 1) 高強度低合金鋼に要求される焼入れ性および耐水素脆化特性に及ぼす影響を調査し、目標性能を達成する製造条件を明確化した。
- 2) 高圧水素蓄圧器の有望鋼種であるMo-V添加鋼および高強度SNCM439鋼を対象とした試設計評価を行い、設計が成立することを確認した。
- 3) Mo-V添加鋼、高強度SNCM439鋼を前提とし、水素ステーションの1ディスペンサーあたりの高圧水素蓄圧器構成を変更(現行300ℓ \times 3本 \Rightarrow 変更後450ℓ \times 2本)した結果、トータルコストは24~26%程度、トータル重量は20~27%程度低減されることがわかった。

本研究開発の事業化に向けては、以下の課題解決に取り組む必要がある。

- 1) 有望鋼種の安全性を立証するデータの拡充
- 2) 大容量蓄圧器の実寸試作と製造課題の抽出およびその解決

今後の水素ステーションの普及拡大に向けて、建設コスト低減効果を発揮すべく、上述の課題解決に取り組み、実用化に繋げていきたい考えである。

表4 水素蓄圧器に関する海外の技術基準・規格類の調査結果

| 国・地域 | 規格・基準類 | 海外基準との違いに関する主な比較結果 |
|------|--|---|
| 国際機関 | ISO | ①引張強度 $\leq 1300\text{MPa}$ ②V、Nb、Ti、B、Zrの合計含有量 $\leq 0.15\%$ |
| 米国 | ASME ASTM ANSI | 【ASME】 ①div.3の安全率は1.732(KHKS 0220では2.4) ②水素蓄圧器用鋼材はリスト化 ③最大引張強度 $> 950\text{MPa}$ の場合は $(K_{I_{max}} + K_{I_{res}} \leq 0)$ |
| 欧州 | EN規格、PED、 DIN-Norm(ドイツ) BS(イギリス) | 【EN規格】 引張強度950MPaの場合、破裂前漏洩試験をはじめとする性能確認試験が必要。 |
| 中国 | GB規格 | 35MPa程度の中圧が主流。輸出先としては期待薄。 |
| 韓国 | KS認証規格 | タイプI蓄圧器に関してはISO準拠。 |

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第441号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2023年10月1日
発行人 小紫正樹
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
URL <http://www.jrcm.or.jp/> E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp
※送付先の変更・中止等は上記E-mailに御連絡をお願いいたします。