

定置用水素エネルギーシステムの開発

前田哲彦

産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門
統合水素システムグループ

水素エネルギーシステム開発の必要性

人類が持続可能な発展を続けていくためには、再生可能エネルギー主体の社会の構築を目指す必要がある。

風力発電、太陽光発電、太陽熱利用、バイオマス利用が大きな役割を担うと考えられる。



風力や太陽光などの再生可能エネルギーは時間帯・気候条件により出力が変動し、供給とのマッチングが困難



エネルギー貯蔵技術、需要制御、系統制御、などエネルギーのマネジメント技術が重要な研究開発要素である。

非常に高い導入目標
太陽光発電の2030累積導入量
目標値53GW
 (日本電力需要ピークは170GW)

このような太陽光発電の大量導入は、低コスト化や高効率化だけでは実現不可能であり、需要と供給の間を貯蔵媒体が必要。

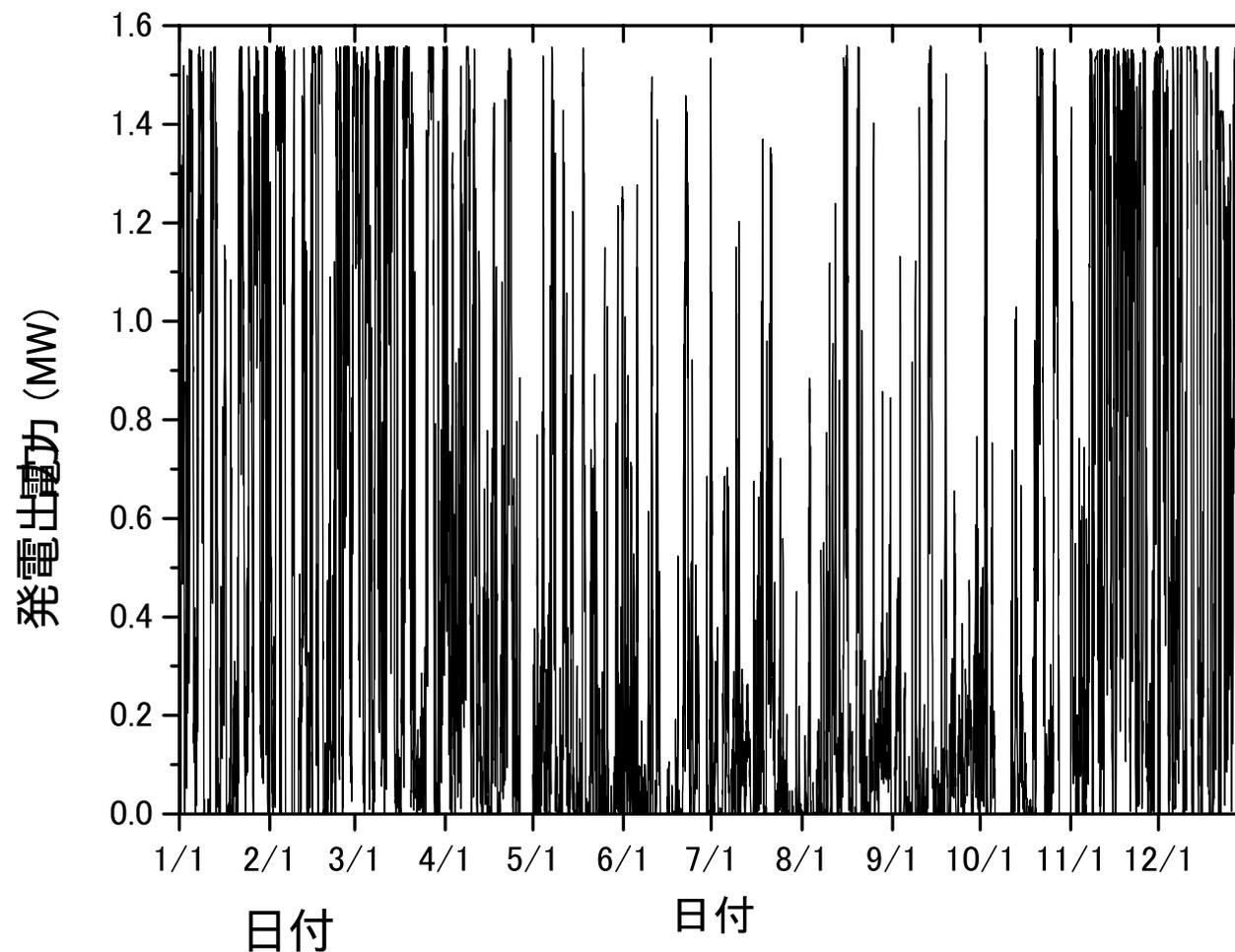
超長期エネルギービジョン(経済産業省)
2100年のエネルギーキャリアは
電気または水素100%
 末端でのCO2回収は不可能なためクリーンなエネルギーキャリアしか使用できない。

水素をエネルギーキャリアとした研究開発は必須である。

ウィンドファーム(稚内)



風力発電の出力例



実測した風力発電所1500kWの発電データ

風力発電用蓄電池 (NAS電池, 二又風力開発)

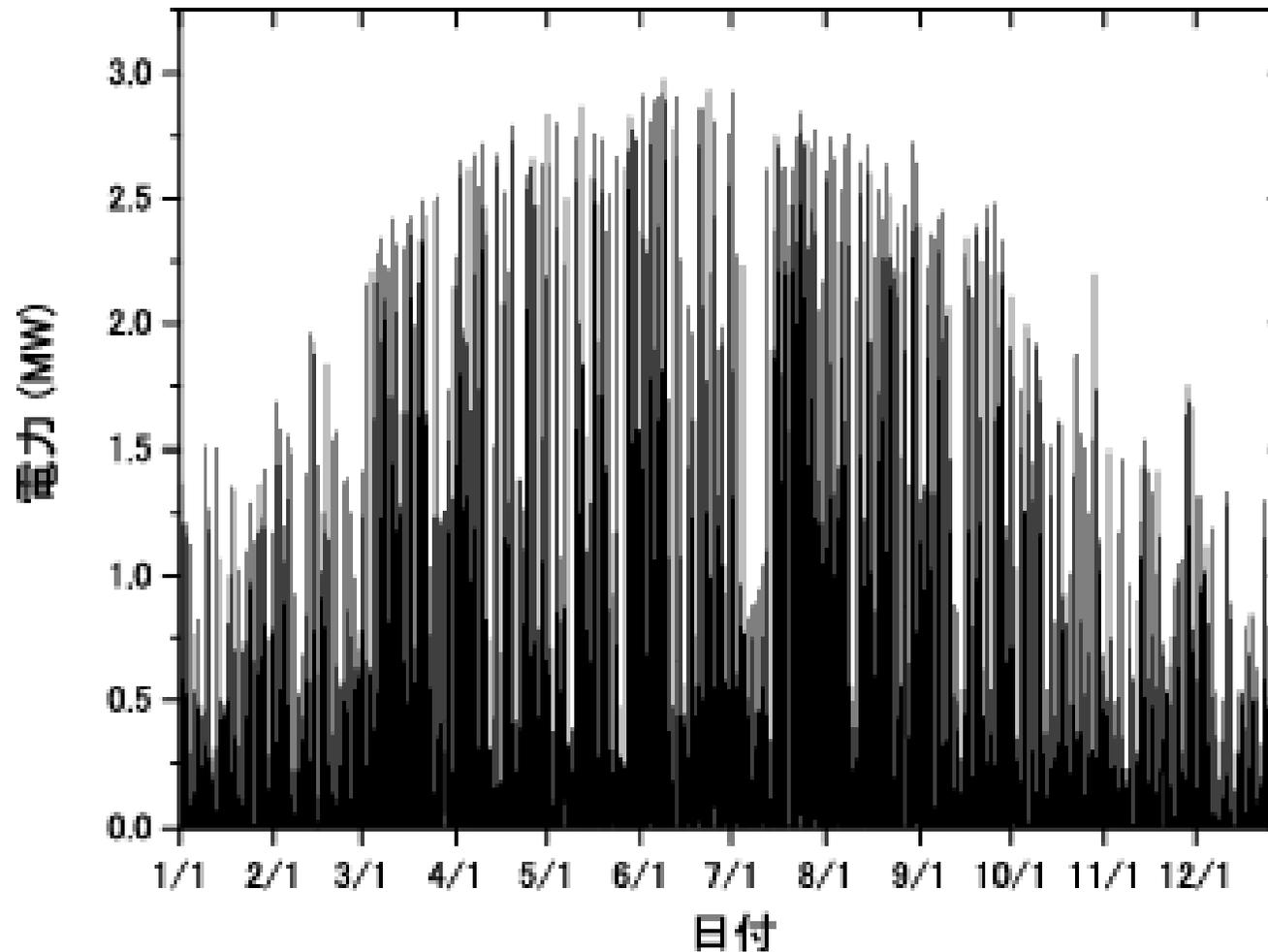


風力発電にて、充電して、
電力状況に応じて送電する。

二又風力開発株式会社
風力発電設備
1500kW × 34台
51MW

NAS電池
2000kW × 17
34MW

太陽光発電の例



実測した風力発電所の近くの日射データから発電データを作成して使用
最大出力を3MWに設定

大規模太陽光発電(メガソーラ) 稚内 5MW



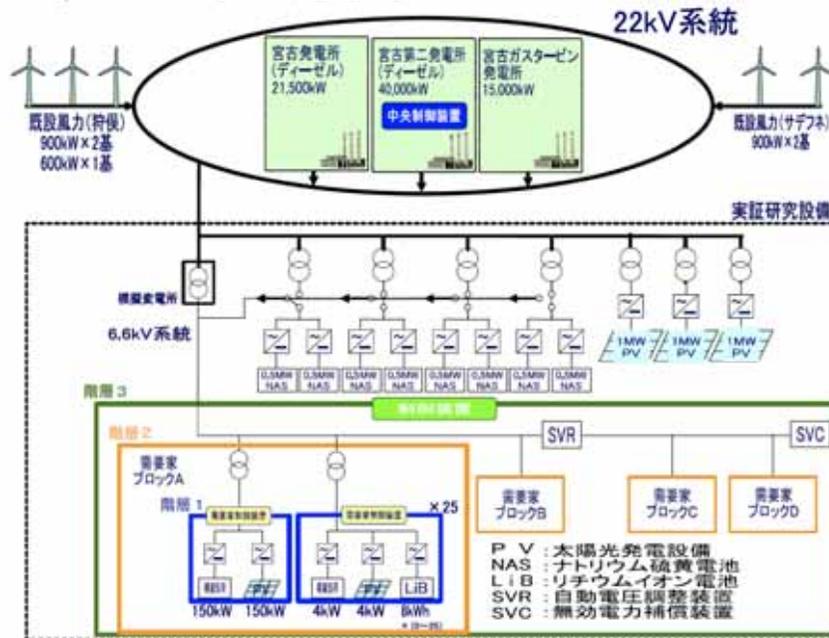
←NEDO ホームページより
1.5MW大容量NaS電池



宮古島メガソーラー実証研究設備 & 風力発電設備



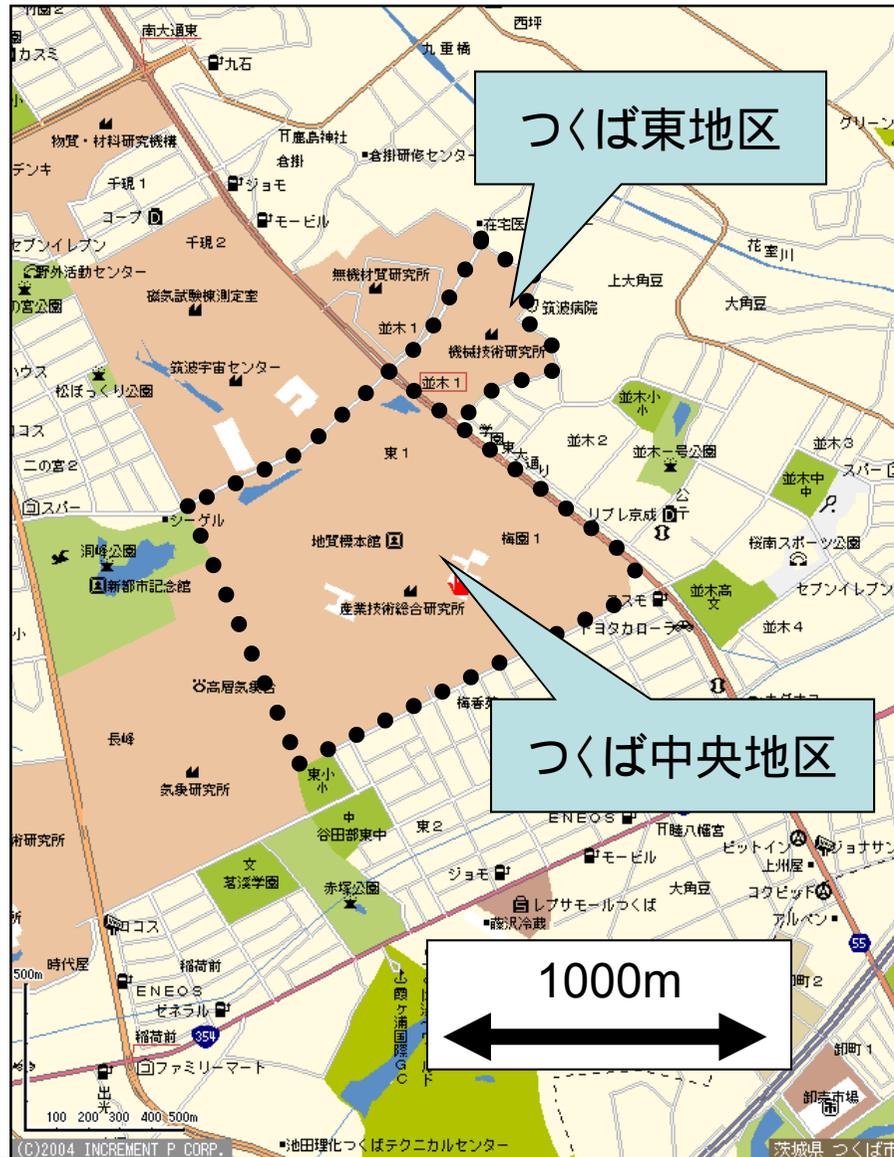
6. 宮古島メガソーラー実証研究設備系統図



- 太陽光発電導入比率 8%
- 系統規模 50000kW
- 新設太陽光発電設備 4000kW
- 新設蓄電設備 4000kW(NaS)
100kW(LiB)
- 既設内燃力設備 74000kW
- 風力発電設備 4200kW

←沖縄電力 Webより

産総研のメガソーラーシステムと蓄電池システム



つくば中央・東地区の
電力需要規模

日平均需要: 約16000kW

太陽光発電: 約1000kW

産総研では、上記以外の各地の研究拠点に計約390kW_pの太陽光発電設備を導入しているため、総計の設備容量は1.4MW_pに達する。

産総研メガソーラーシステム

- つくば地区合計で、**1MW_p超**の設備容量
年間100万kWh(CO₂換算で約300トン)の電力供給を期待
- 種々の電池セル、パワーコンディショナを用意
電池モジュール**9種類** + パワーコンディショナ**7種類**
- パワーコンディショナは、**主に住宅用**を利用
4kWユニット×211台(新設) 10kWユニット×13台(既存)
- 計測システム**を構築
全連系点で出力等の計測 エリア毎の気象情報
電力需要の計測

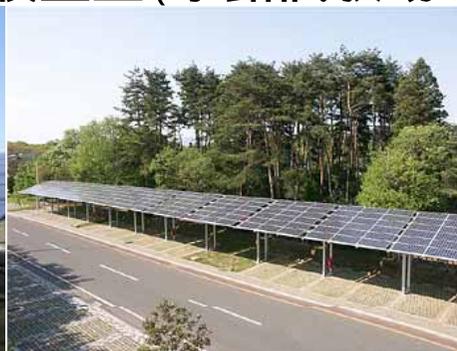


種々の設置形態のものを用意

建物屋上設置型、建物壁面設置型、駐車場屋根兼用型、
斜面設置型、地表設置型(暴露試験場を含む)など



建物屋上設置型



駐車場屋根兼用型



斜面設置型



地表設置型

NAS電池 (2000kW - 8hr)

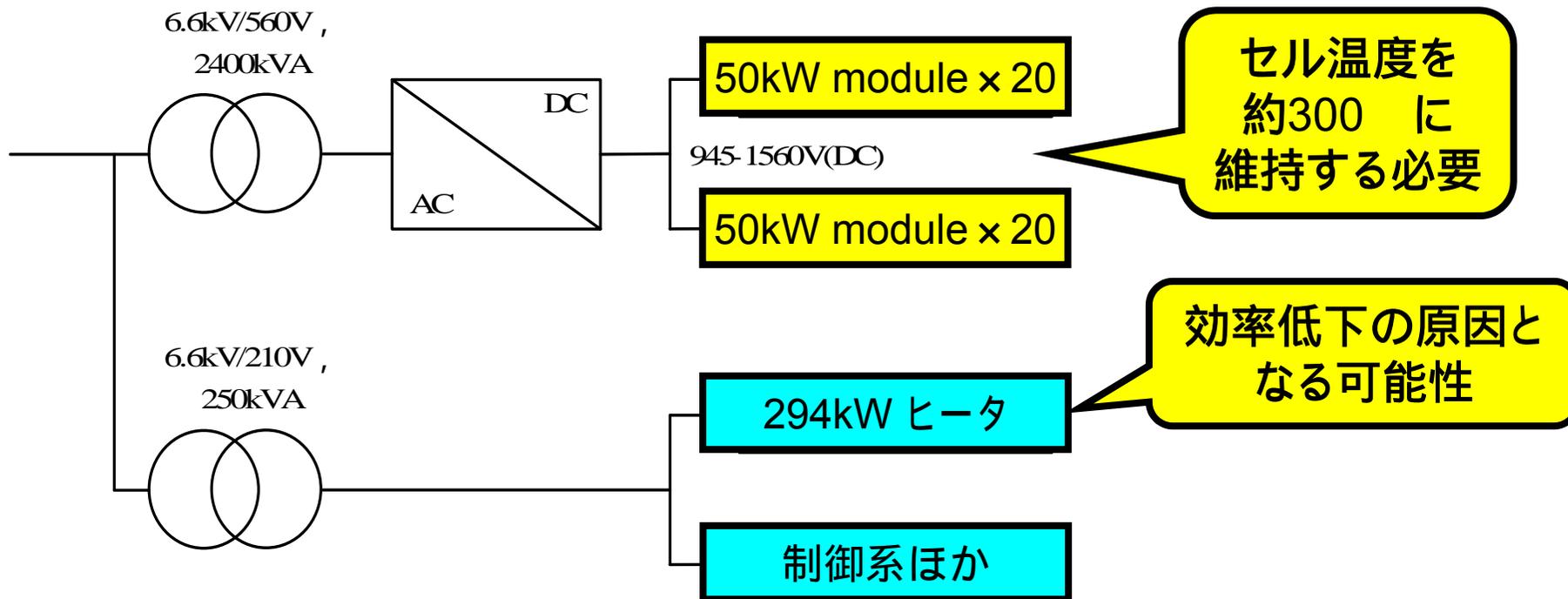


変換器盤
 9.2m(W) × 3.3m(D) × 4m(H)
 (総重量: 約31.3トン)



電池盤
 10.2m(W) × 2.2m(D) × 5.2m(H) × 2列
 (総重量: 約175トン)

NAS電池 (2000kW-8hr)



これまでの運用実績

SOC	電池効率 (AC端)	総合効率 (補機を含む)	損失 kWh/day	補機損 kWh/day
~ 30%	-	-	約50 ~ 900	約2200 ~ 1500
30% ~ 60%	90%	75%	約900 ~ 1600	約2000 ~ 1500
60% ~	85%	80%	約1600 ~ 2300	約1500 ~ 1000

水素と電気との関係

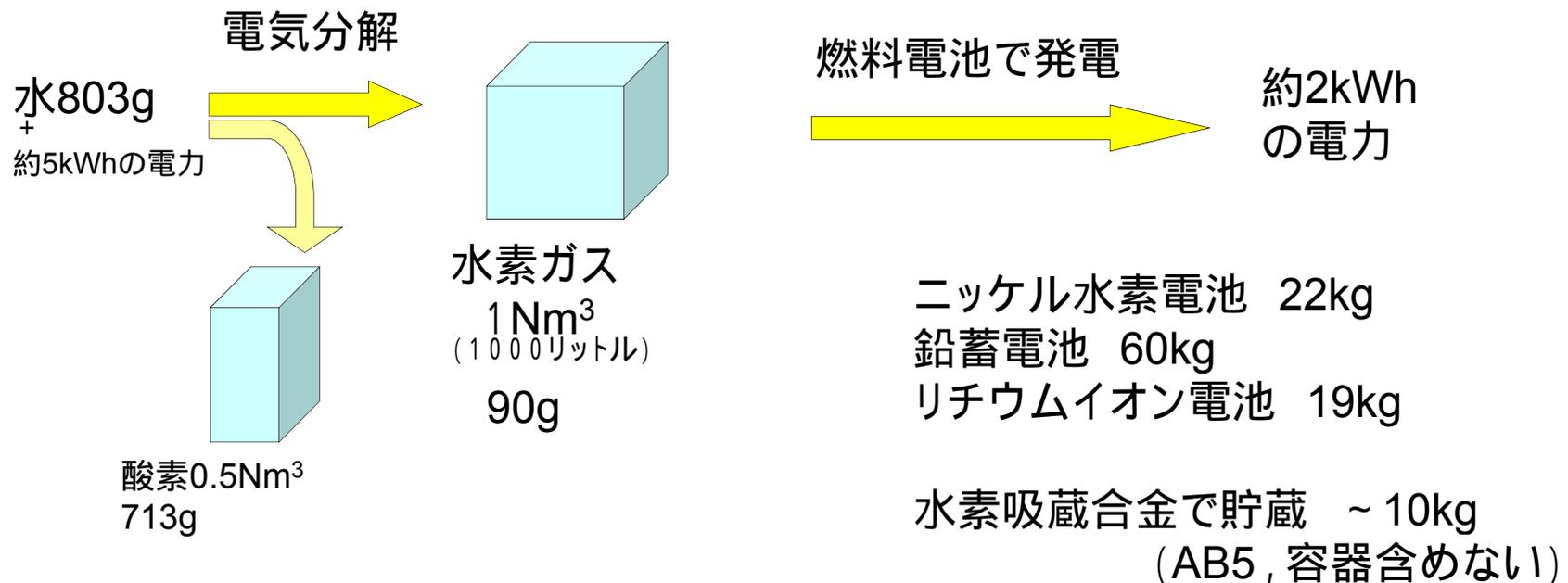
電気エネルギーにより水を水素と酸素に分解し、
水素の化学エネルギーに変換。

アルカリ水電解 ・ 固体高分子水電解 実質効率60～90%

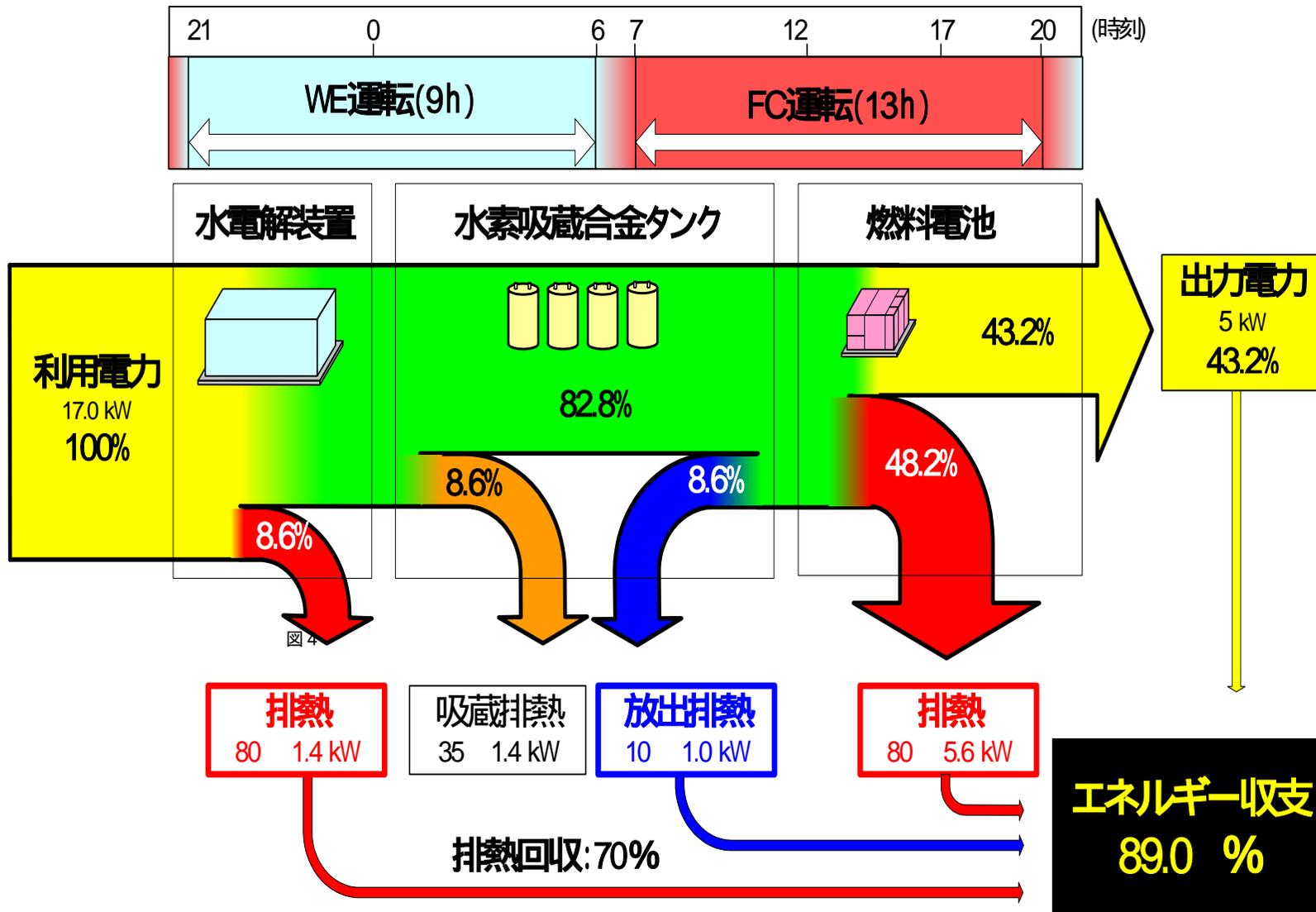
水素を燃料電池を用いて電気エネルギーに変換。

燃料電池 : 効率40～60%

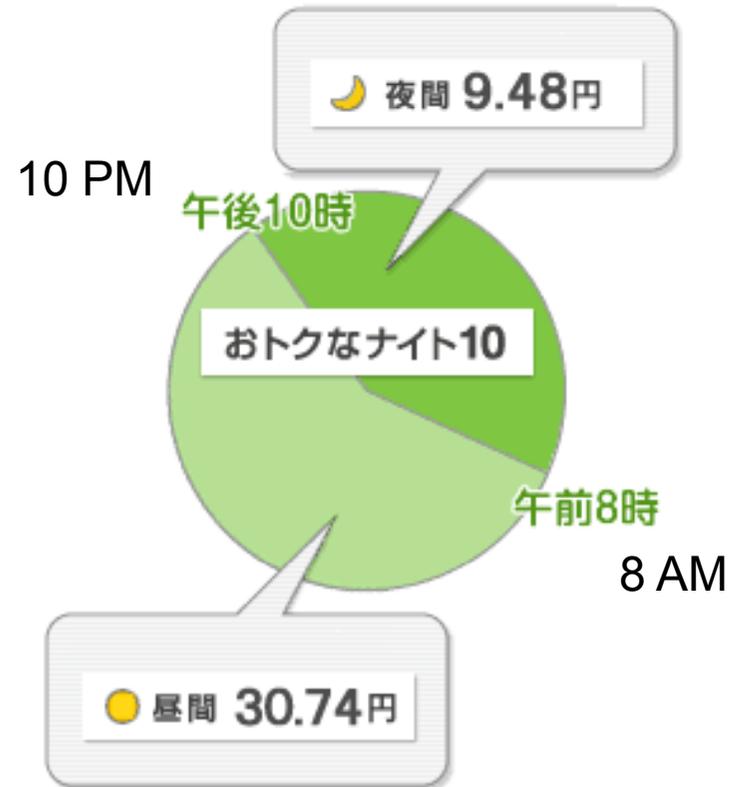
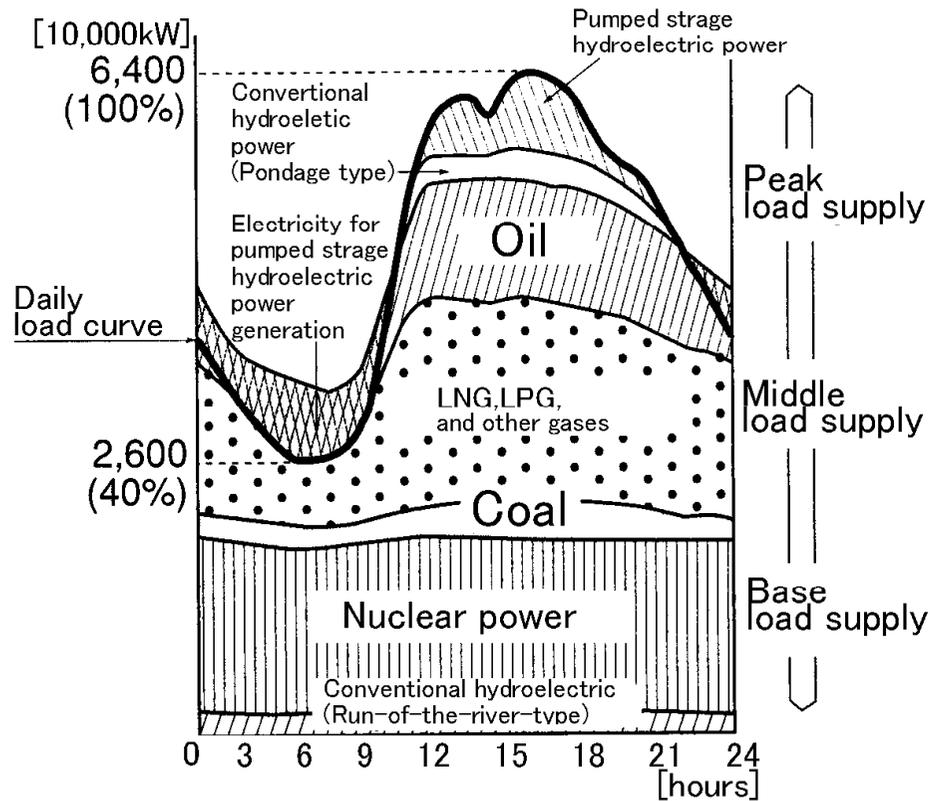
電気→水素→電気 往復効率 < 50%



水素統合システムを電力負荷平準化システムとして導入する場合のエネルギー収支の試算結果(目標値)

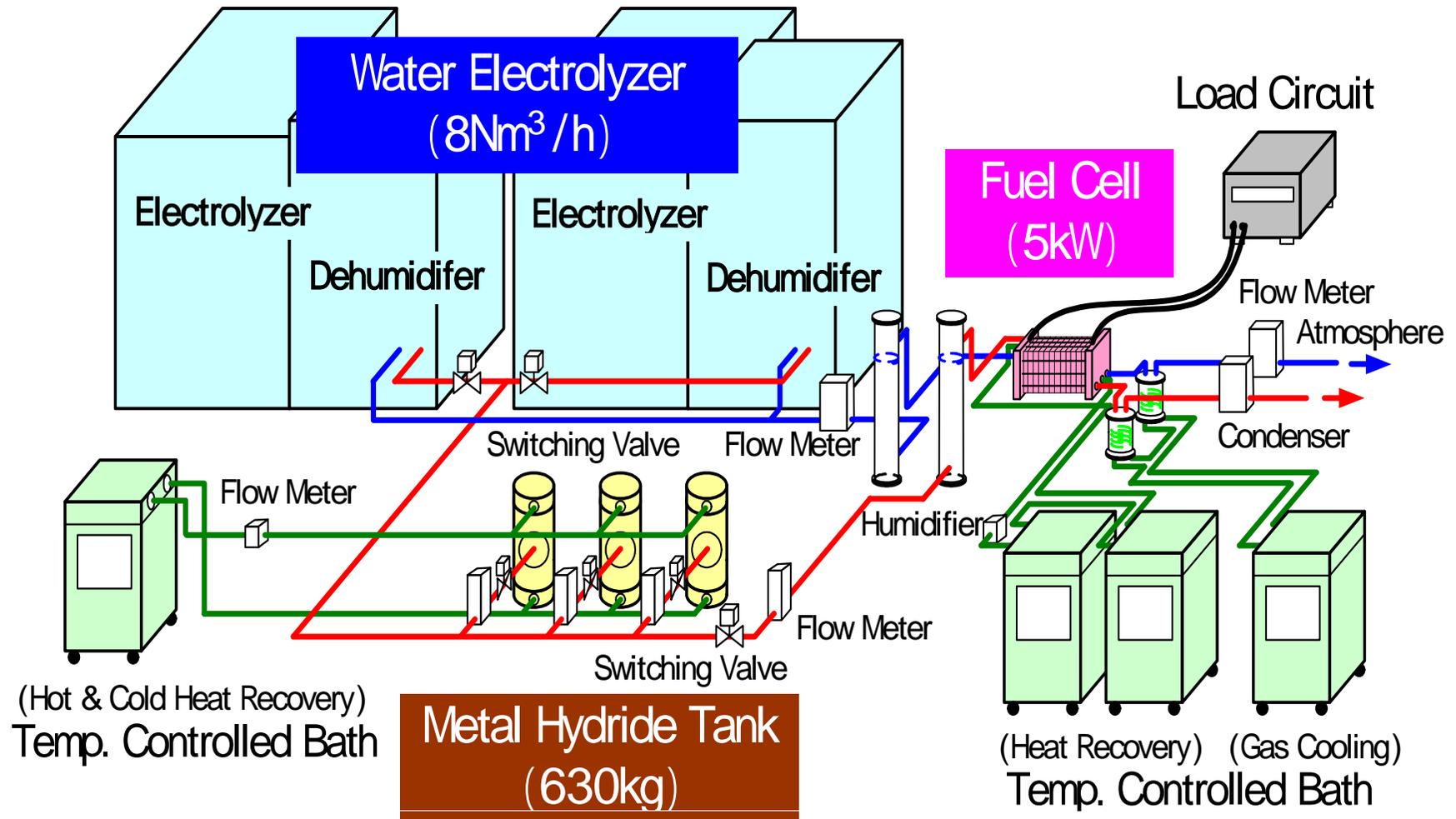


東京電力の電力需要と電気の値段の例



<http://www.tepco.co.jp/>

統合型水素利用システム実証装置 5KW

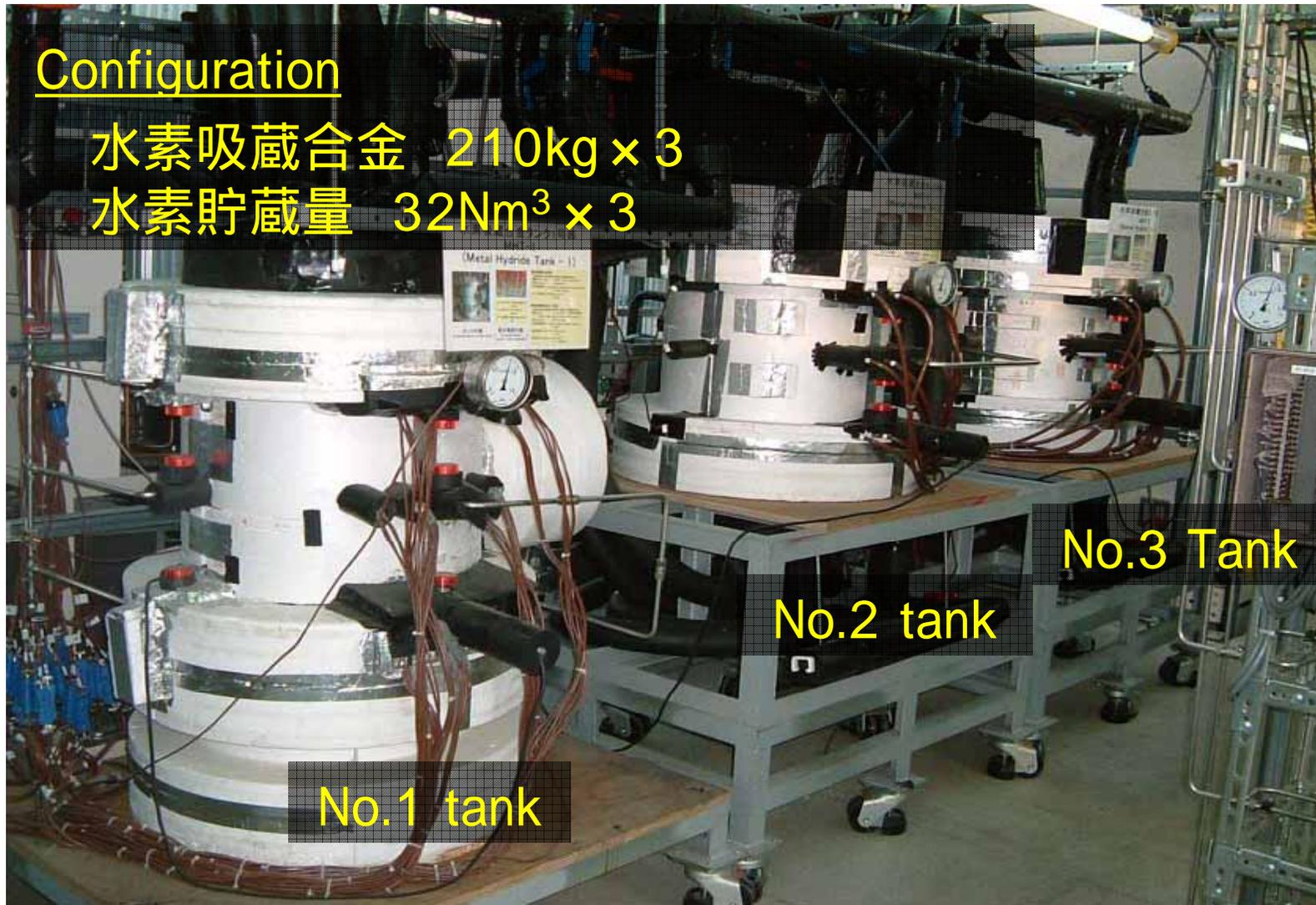


水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵

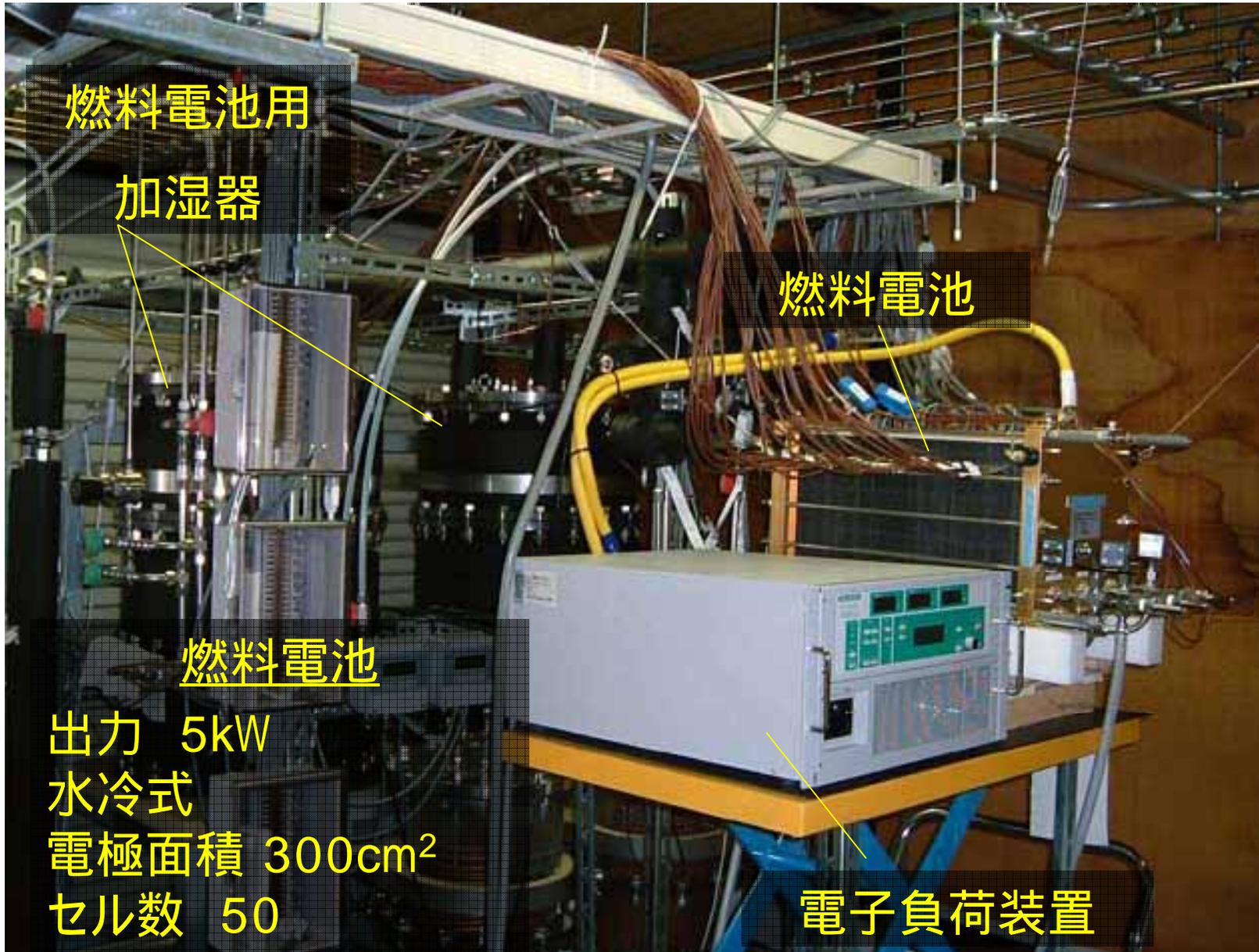
Configuration

水素吸蔵合金 210kg × 3

水素貯蔵量 32Nm³ × 3



燃料電池



燃料電池用
加湿器

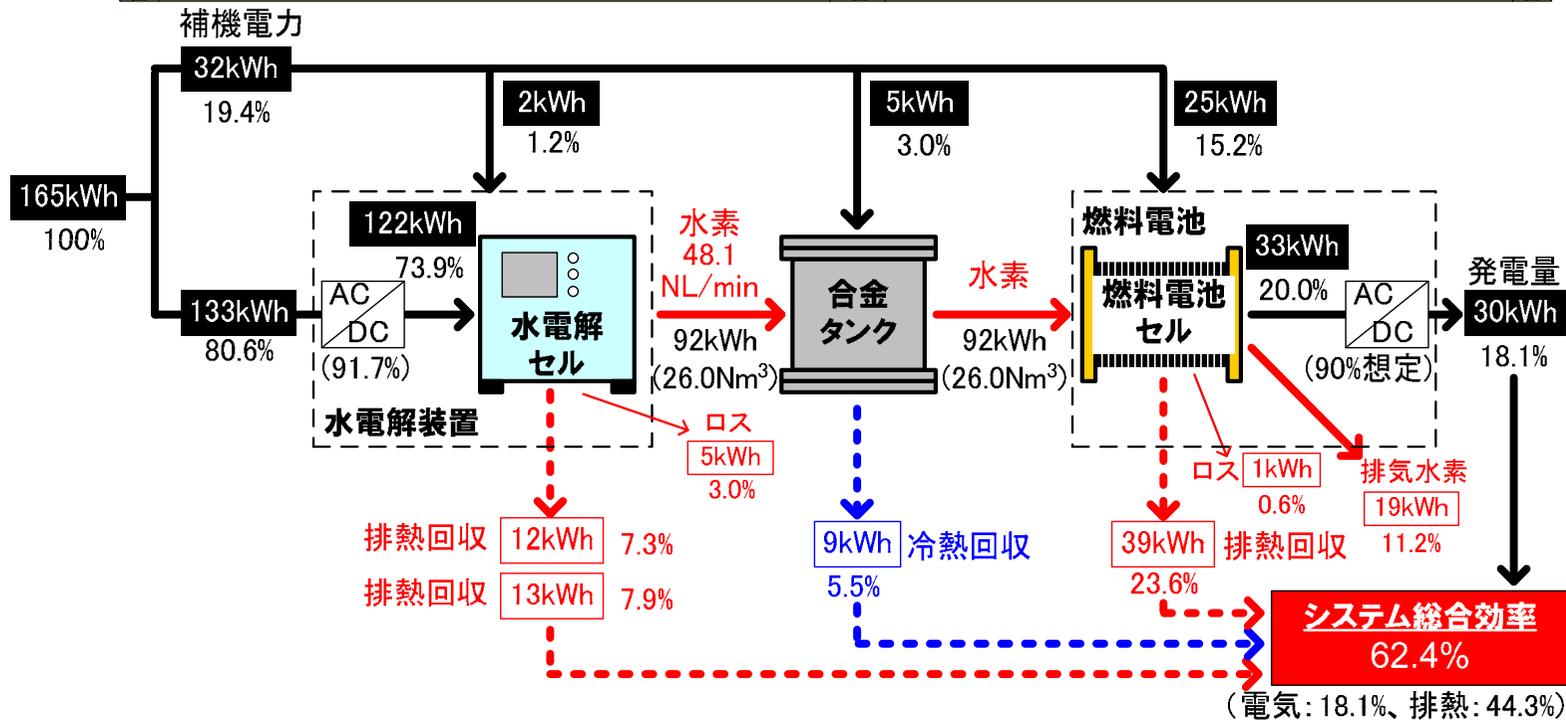
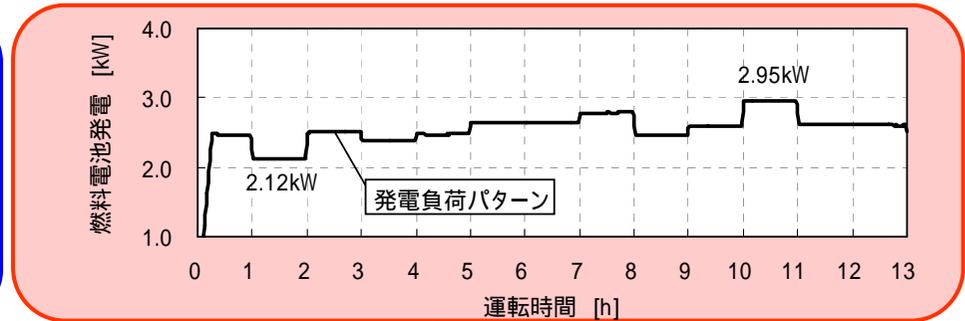
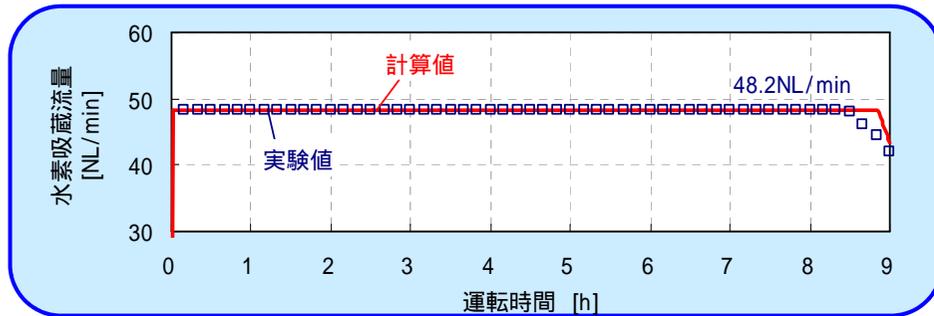
燃料電池

燃料電池

出力 5kW
水冷式
電極面積 300cm²
セル数 50

電子負荷装置

システム総合効率によるシステム評価（実測値）



統合型水素利用システムの概要と実運用を想定したシステム評価

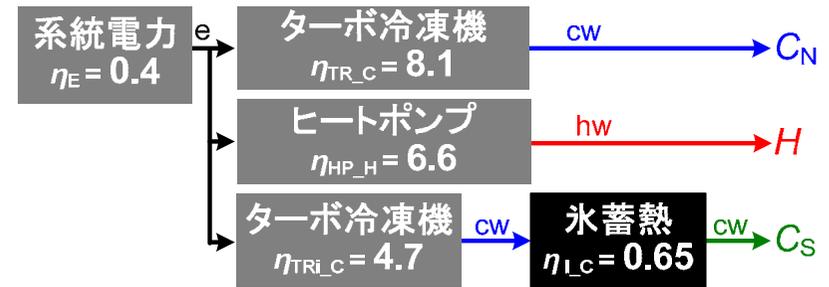
評価対象

既存技術である氷蓄熱システムに対する統合型水素利用システムの省エネルギー性の評価を行った。提案時は、評価の対象を一般の事務所ビルの夏期のピーク日のみとしていたが、実在する建物の**年間の熱需要データ**を用いて評価した。

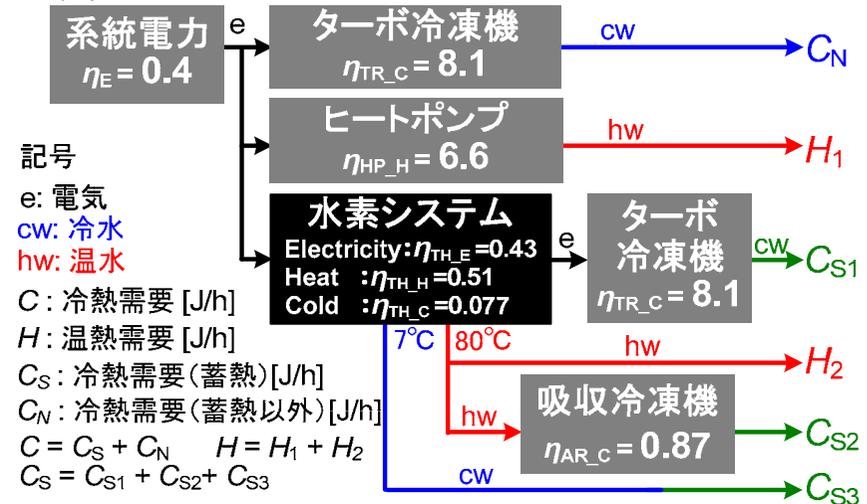
この水素システムをエネルギー的に最も高効率に運用する方法は、昼間に発電した電力で最もCOPの高いターボ冷凍機を動かして昼間の冷熱需要を賄い、同時に得られる排熱を徹底的に利用する方法である。

なお、水素システムに期待できる副次効果は、加算していない。例えば、系統電力の安定化に伴う再生可能エネルギーの大量導入、炭酸ガス排出量の少ない夜間電力への移行による環境負荷の低減、水素インフラ整備の提供の効果が期待できる。

(A) 氷蓄熱

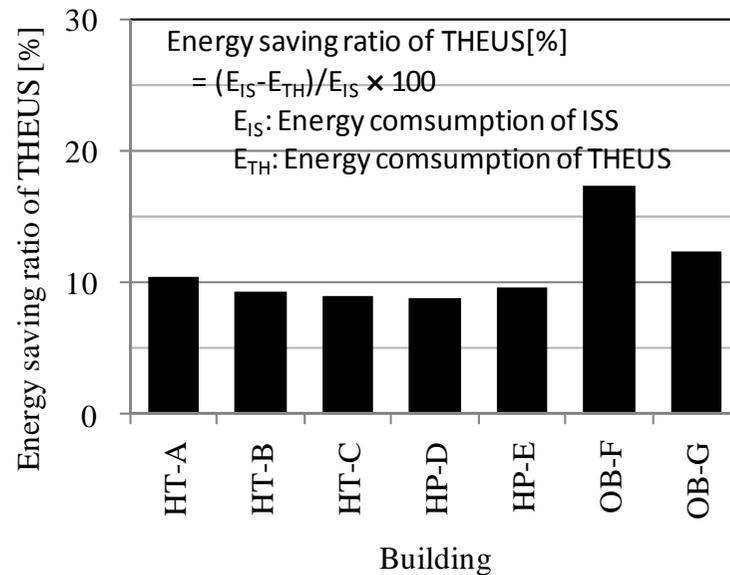


(B) 水素システム

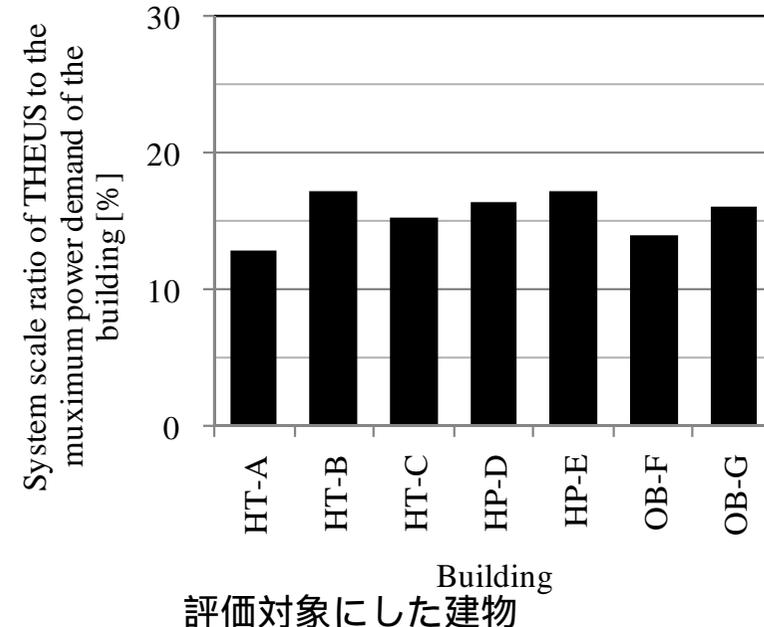


統合型水素利用システムの概要と実運用を想定したシステム評価

水素システムの氷蓄熱に対する省エネルギー率



最適水素システムの導入規模の年間最大電力需要に対する割合



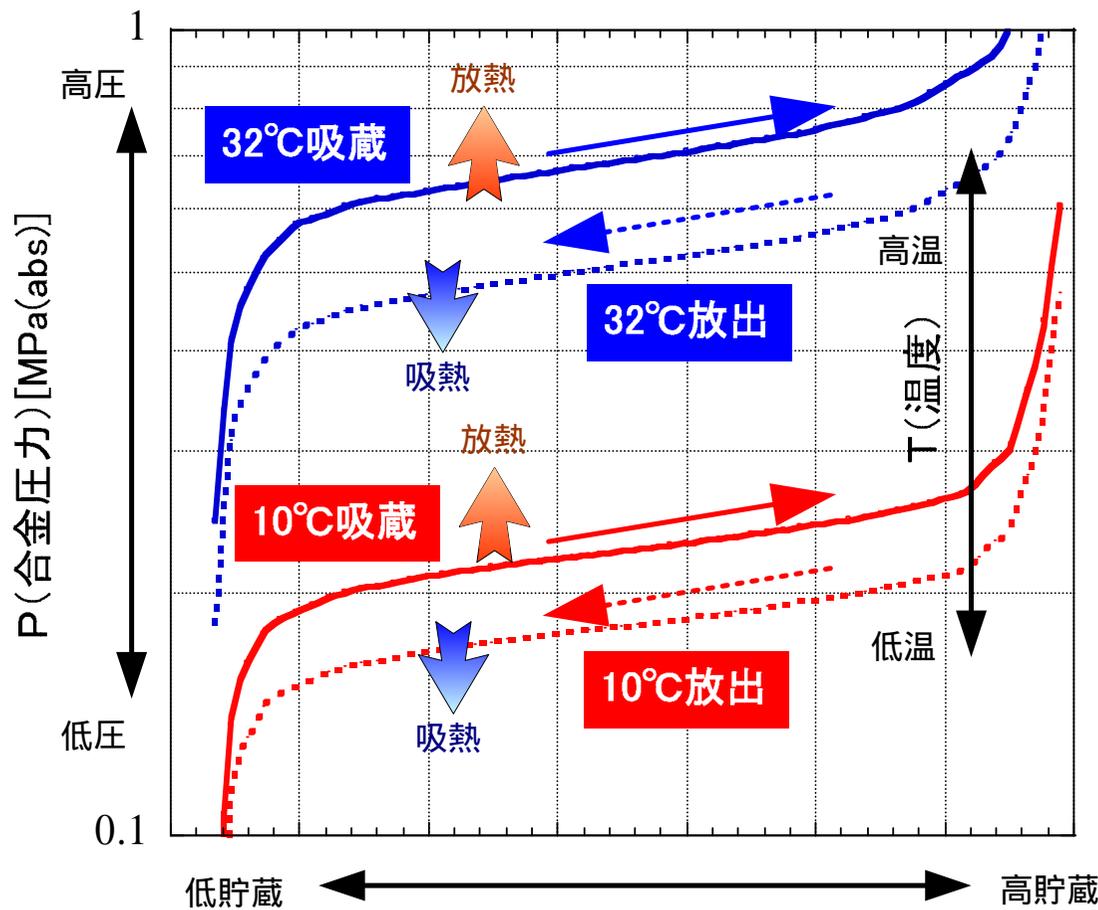
全ての建物で9～17%の高い省エネルギー率が得られた。昼間の冷熱需要の大きい事務所ビルは年間で17%の省エネが期待できる。
水素システムの導入規模は、建物の年間最大電力に対して10～15%程度になることが分った。

評価対象にした建物

建物名称	記号	床面積[m ²]	年間最大電力[kW]
Aホテル	HT-A	15,000	620
Bホテル	HT-B	64,700	1,600
Cホテル	HT-C	19,800	800
D病院	HP-D	10,600	320
E病院	HP-E	32,500	1,400
F事務所	OB-F	52,300	2,600
G事務所	OB-G	78,300	2,700

水素吸蔵合金とは？

- ・水素を金属内部に取り込み、水素の出し入れ(吸・放出)が可能
- ・水素を吸・放出する際に、反応熱が発生



C (組成: 水素貯蔵量)
水素貯蔵合金の特性曲線 (圧力 - 組成 - 温度曲線)

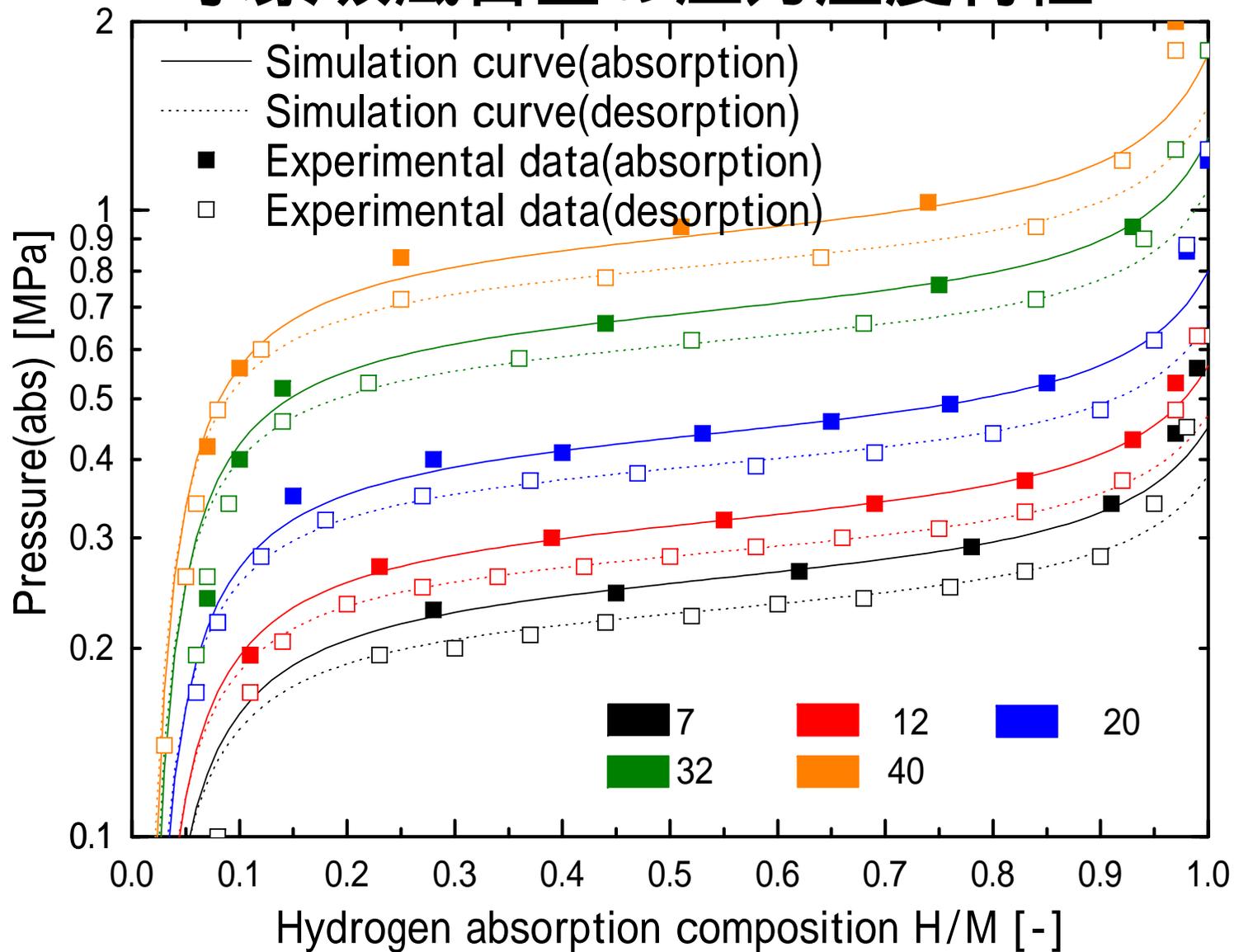
水素吸蔵合金の概観



5kW級水素システムで使用している合金は、AB5系合金

水素吸蔵合金は、水素吸蔵時に膨張し、微粉化する。

水素吸蔵合金の圧力温度特性



水素の貯蔵 (体積と重量)

Capacity

Amount a same volume

Gas @ std cond. 1	Gas @150 atm 150	Liquid H ₂ @ 20 K 778	MH (LaNi ₅ H ₆) 1150
-------------------------	------------------------	--	---

Mass for 22.4 NL hydrogen gas

Gas @ std cond. 2 g	Gas @150 atm 167 g	Liquid H ₂ @ 20 K 2 g	MH (LaNi ₅ H ₆) 430 g
---------------------------	--------------------------	--	--



吸蔵合金の熱伝導率

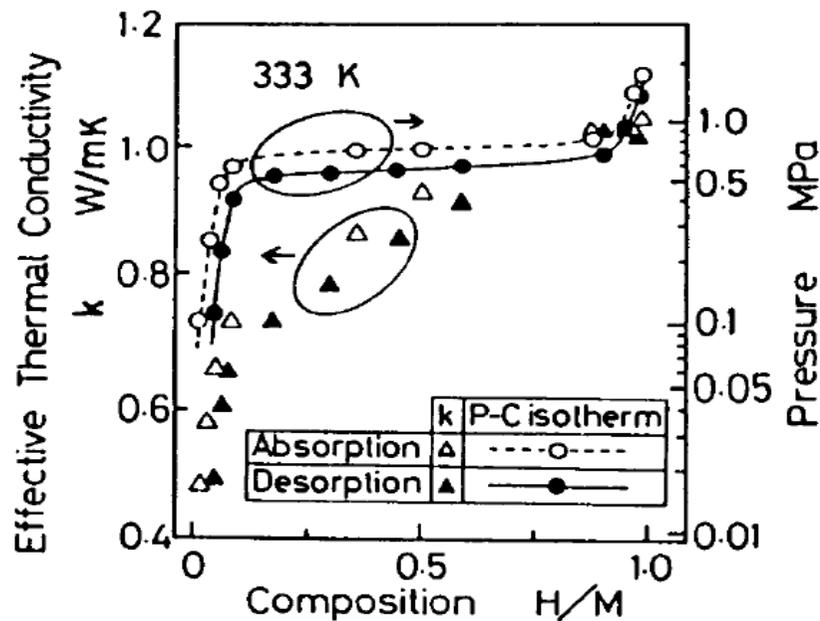


図 4 LaNi₅-水素系の有効熱伝導率の組成依存性

今回用いたAB5系の熱伝導率は、**0.6 ~ 1 W/mK**程度であり、熱伝導率は低い。

水素吸蔵は発熱反応、水素放出は、吸熱反応であり、水素吸蔵・放出を速やかに行うためには、熱交換性能を考慮した容器の設計が必要である。

参考 熱伝導率 W/mK

銅 402

アルミニウム 237

ステンレス15

真鍮(Cu 70%, Zn 30%) 119

(化学便覧改訂4版)

上記図引用文献

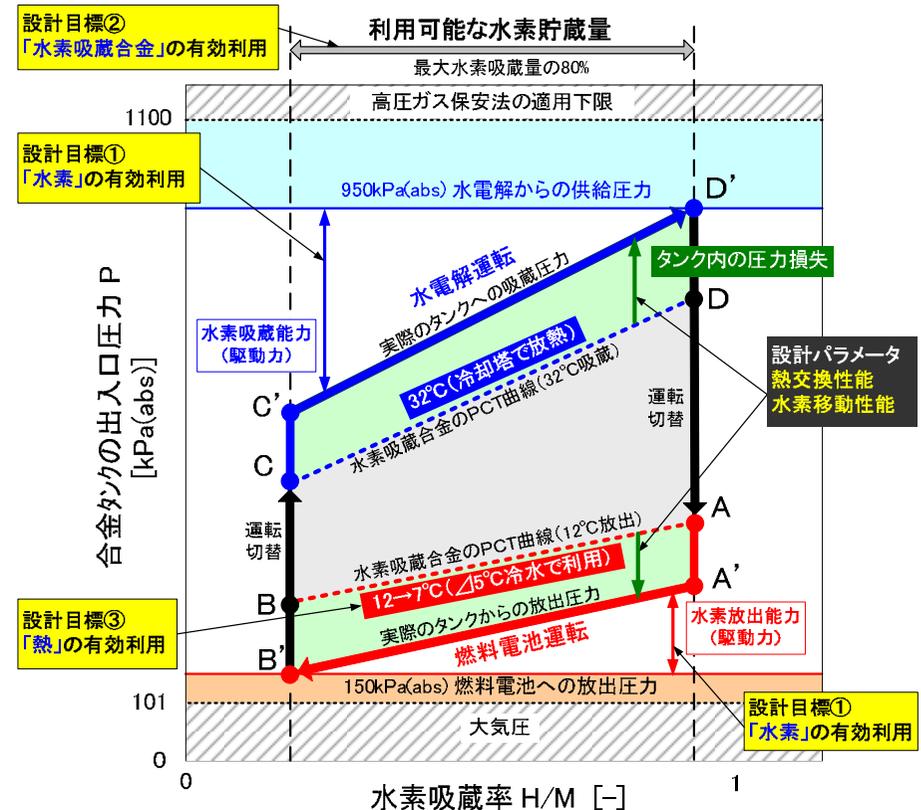
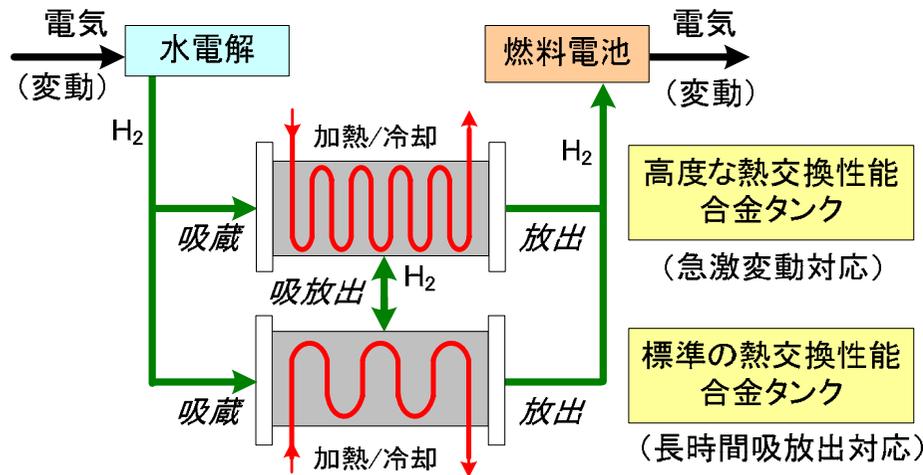
水素吸蔵合金LaNi₅-水素系の熱物性および反応特性に関する実験的研究

吉田篤正ほか 日本機械学会論文集. B編 56(522), 536-540, 1990-02-25

高性能水素貯蔵装置の開発

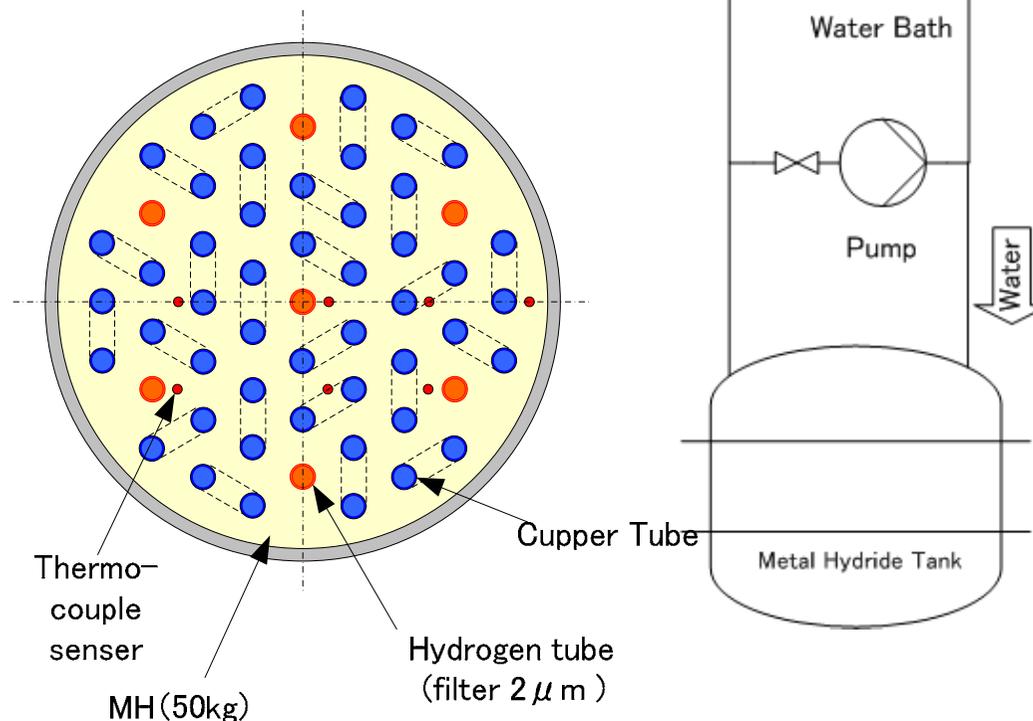
変動する建物負荷に応じた運転ができるタンクを高性能タンクと位置付け、以下に示す性能のタンクを開発する。

**目標： 最大流量15L (N) /分、合金利用率80%以上、水素貯蔵量6m³(N)、10時間程度の安定運転が可能な高フレキシビリティタンクを開発・実証
複数タンク分散配置の有効性の評価と実証**



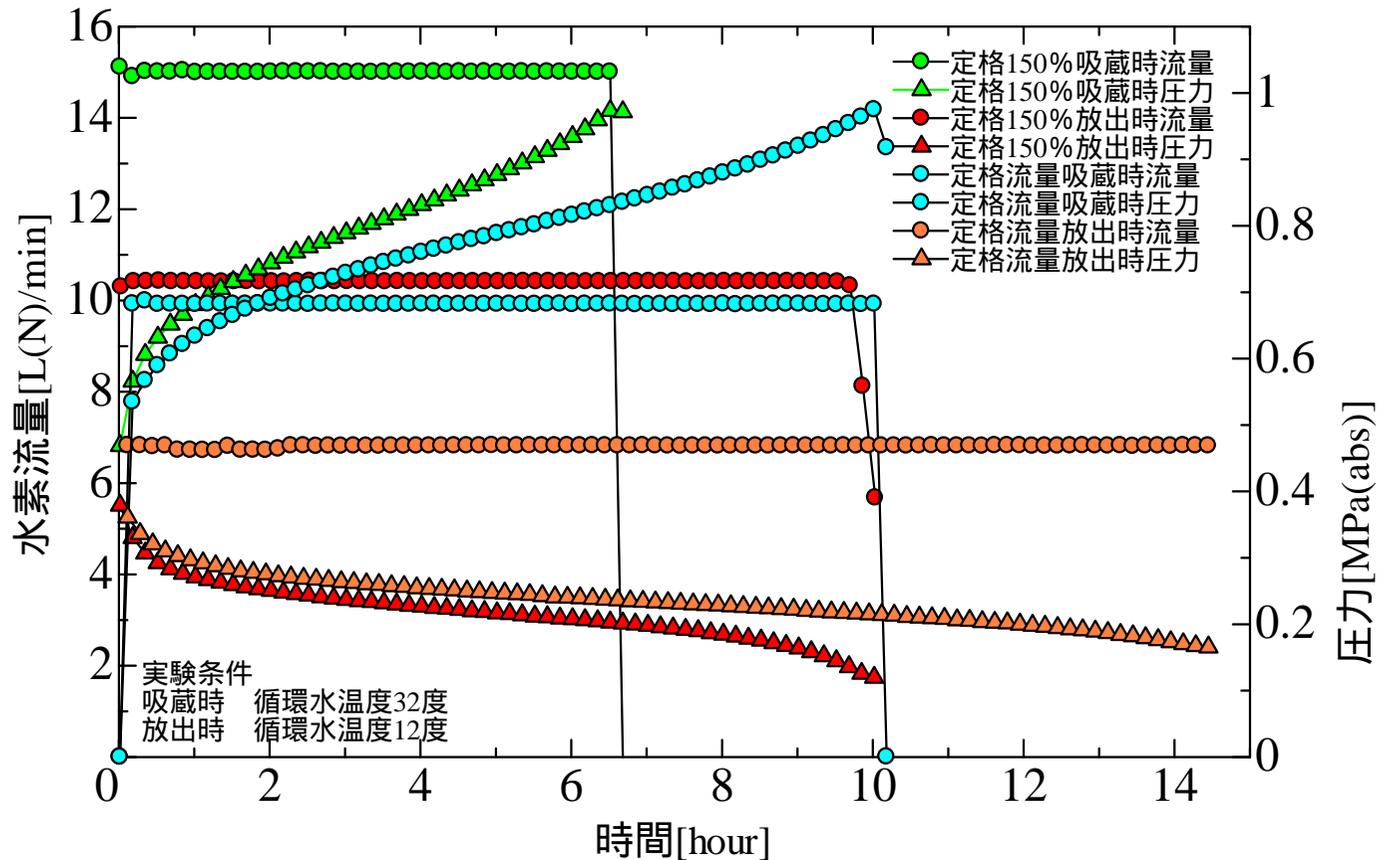
高性能水素貯蔵装置の開発

数値計算の結果をベースに、これまでの知見を盛り込んだ高い熱交換性能を有する合金タンクを製作した。合金量50kg(水素貯蔵容量5.4 ~ 7Nm³)
48本の熱交換用銅チューブをタンク内に設置。



高性能水素貯蔵装置の開発

水素吸蔵、放出実験結果

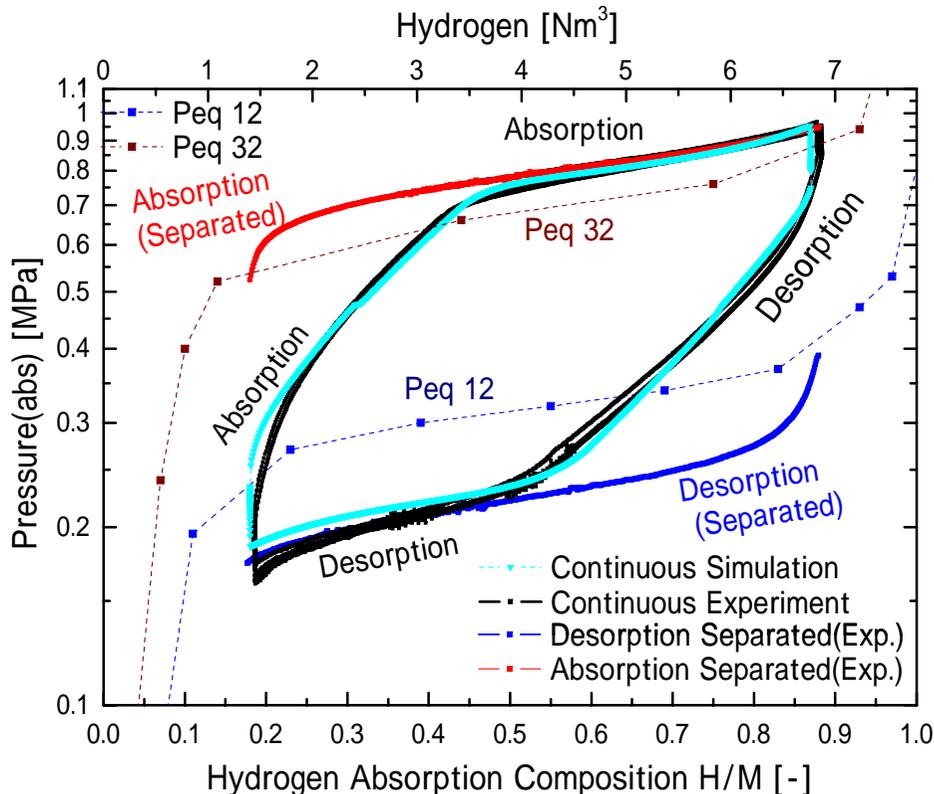


定格水素流量は、
 以下の通り
 吸蔵 10NL/分
 放出 6.9NL/分

水素流量15L(N)/分合金利用率89.7%、水素貯蔵量6m³(N)、10時間の安定運転を実証

高性能水素貯蔵装置の開発

実際のサイクルを考慮した連続運転を実施(4日間の連続実験)



吸蔵32 ,放出12 を運転条件としている。上記の図に示すように設定した温度、圧力において、4日間の安定した水素吸蔵・放出を実現できた。

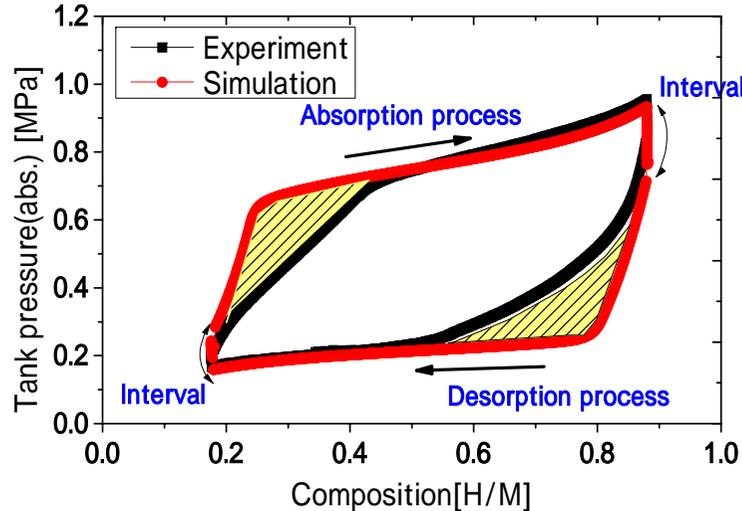
また、水素放出時の吸熱反応を冷熱需要に利用することが本システムの大きな特徴である。実際のサイクルは吸蔵終了後放出によってタンク自身が12 に冷却されるまで冷熱は取り出せない。

吸蔵と放出をそれぞれ32 、12 の一様の温度分布から開始した場合は、熱利用率は吸蔵過程では84.7%、放出過程では82.3%であった。一方、連続実験では、吸蔵過程では46.3%、放出過程では42.9%と低下したが、複数台の運転を行えば、排熱利用率の大幅な向上が可能である。

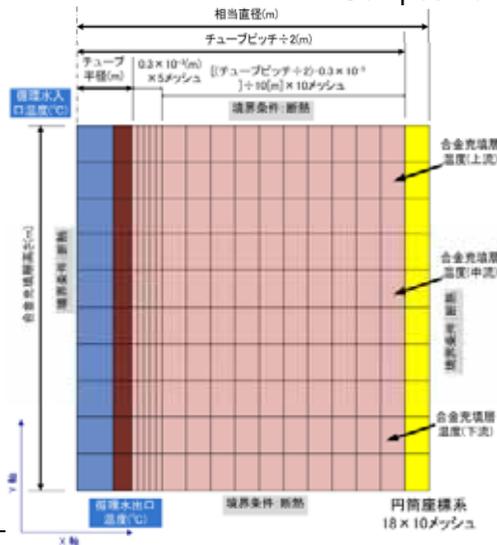
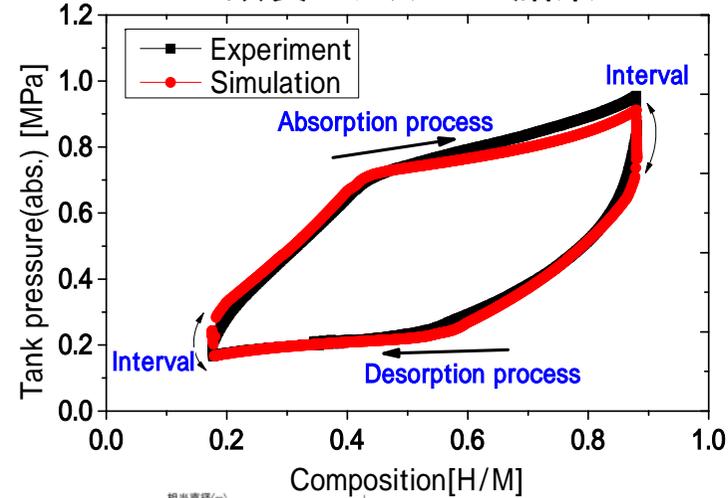
高性能水素貯蔵装置の開発

数値計算による検討 **モデルを改良→実験結果と極めて良く一致。**

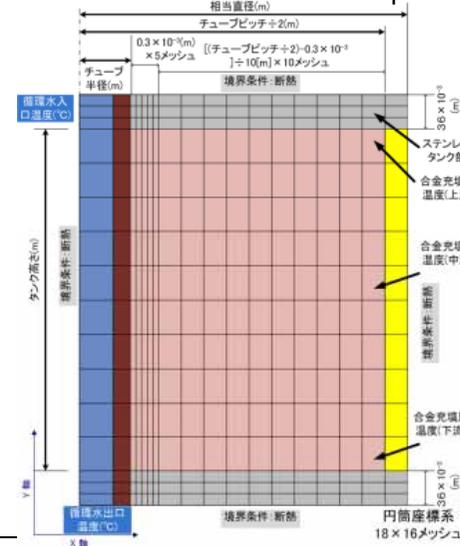
従来のモデルでの結果



改良モデルでの結果



合金外側を断熱と仮定しているの、タンクの熱容量を考慮できず、実験と一致しなかった。

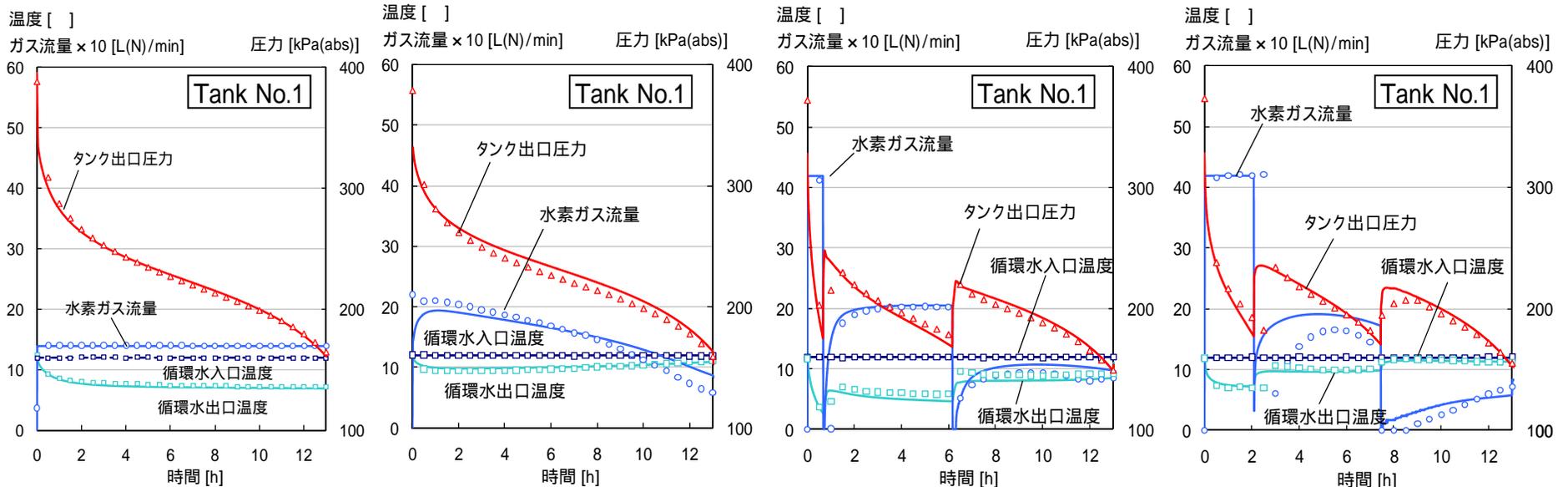
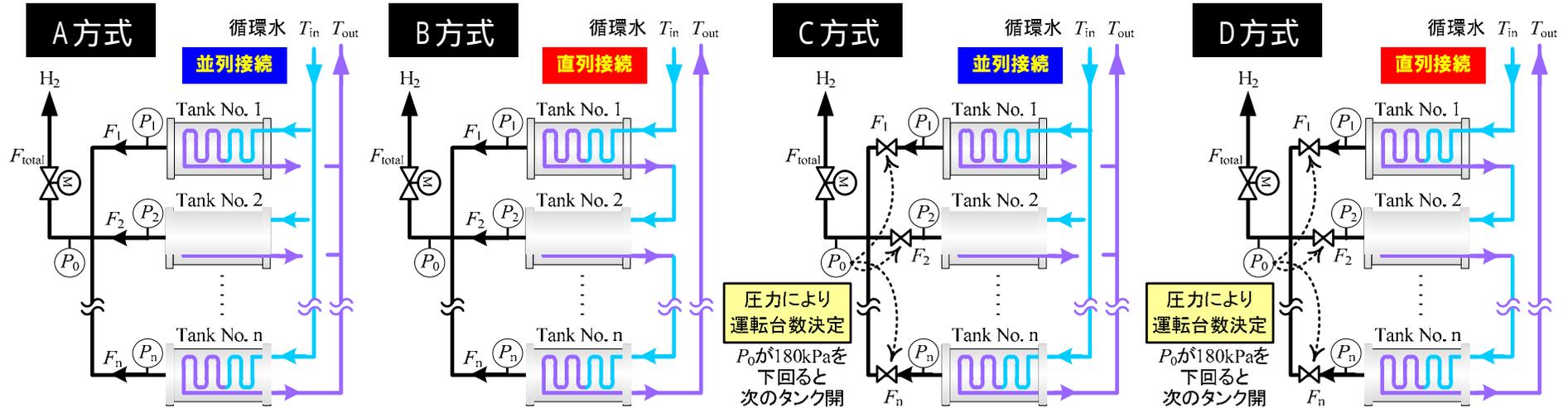


タンク上下に容器部分を考慮したモデルに変更。タンク全体の熱容量をモデル化した。実験結果と極めて良く一致した。

T.Maeda et al, Int J Hydrogen Energy, Vol.36-17, pp.10845-10854, 2011/08 etc

高性能水素貯蔵装置の開発

複数タンク分散配置の検討

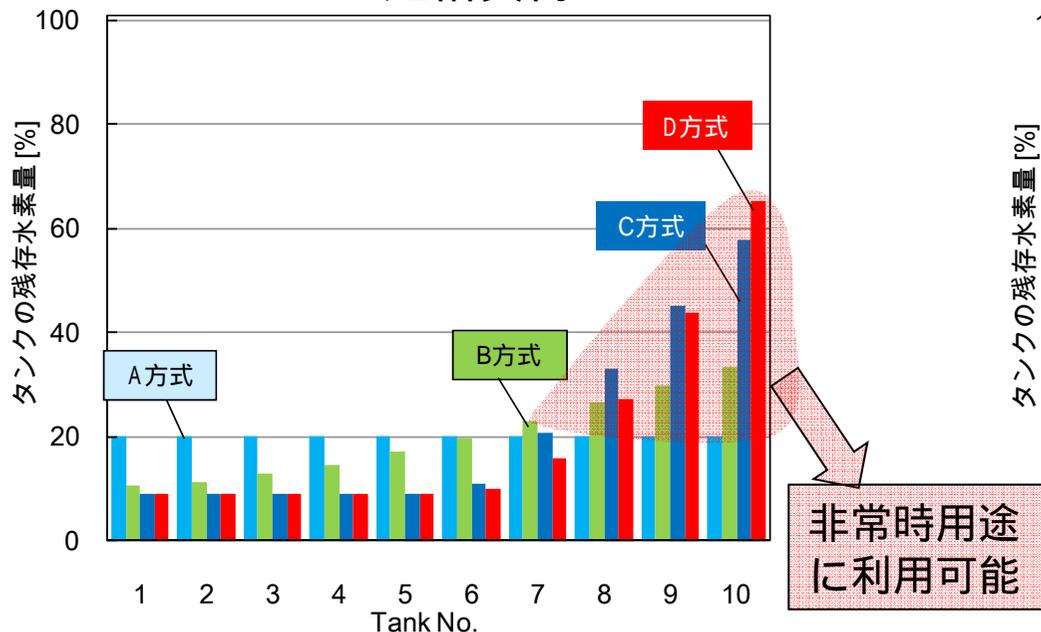


全ての方式で安定運転を検証し、且つ実験と計算が概ね一致 (プロットは実験、実線は計算)

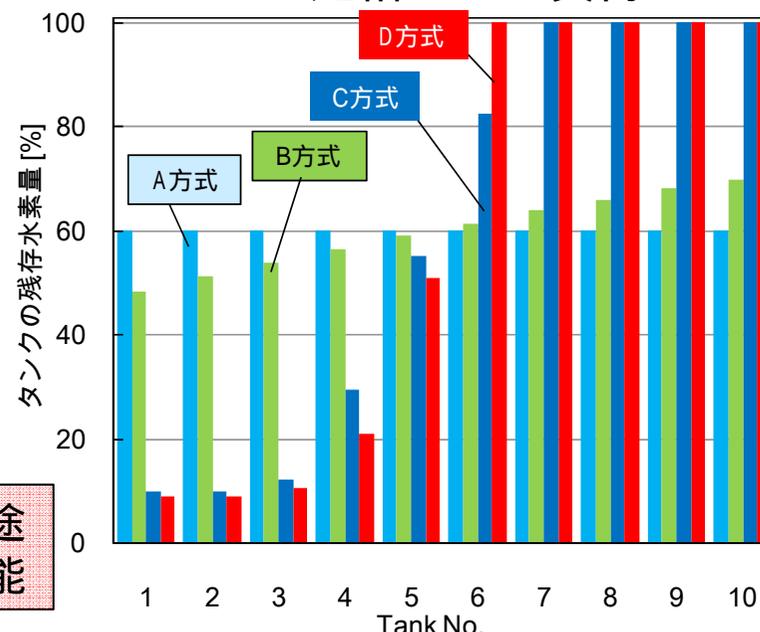
高性能水素貯蔵装置の開発

合金タンク10台による運転シミュレーション

定格負荷



定格の50%負荷



各方式の総合評価

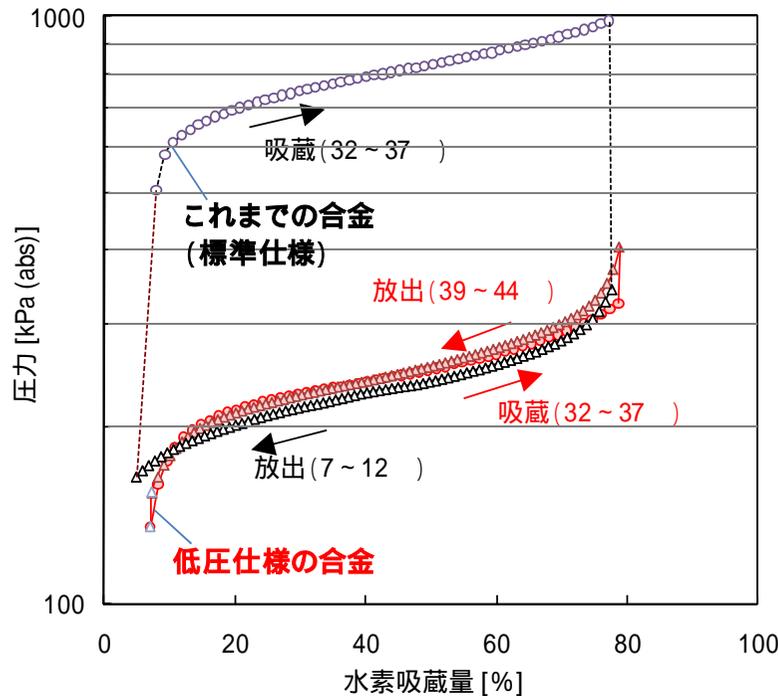
導入システムのニーズ
・運転条件等に適した
方式を選択

	A方式	B方式	C方式	D方式
システムの簡素化				
排熱利用				
水素残量の把握				
タンク性能の維持管理				
非常時用途との組合せ				

合金タンクの低コスト化の検討

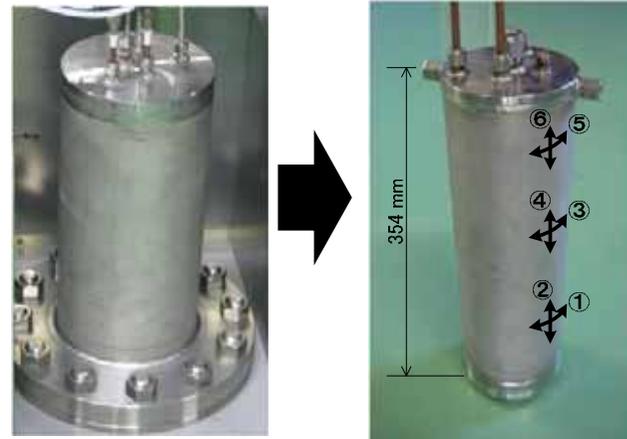
目標：合金種類の見直しによる低圧力化、タンクの構造・材質の低コスト化を図る。

水素吸蔵合金の組成変更によるシステムの低圧化



運転圧力の大幅な低減を達成： 60%
(1,000 kPa(abs) → 400 kPa(abs))

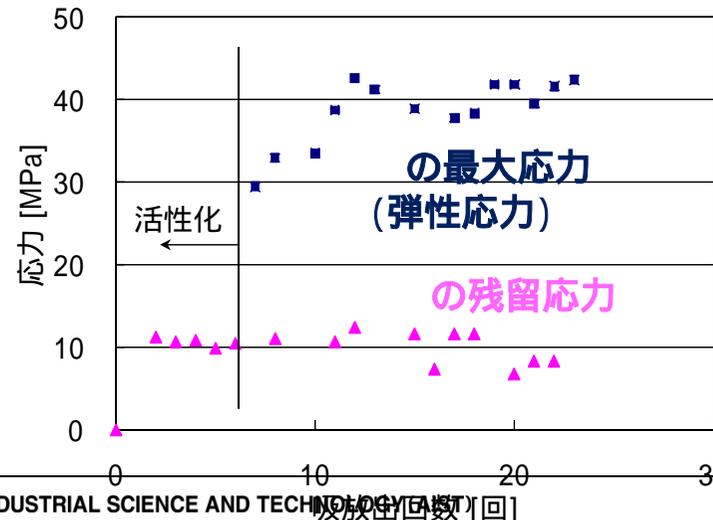
合金タンクの簡素化



タンク重量
: 75%
(31kg → 8 kg)
製作コスト
: 37%

合金タンクの応力測定

(SUS316Lの0.2%耐力 : 175 MPa)



本タンクは
構造的に
問題なし

まとめ

最後に水素をエネルギー媒体とした定置用エネルギーシステムの研究開発の状況と今後の展望をまとめる。

水素製造・貯蔵・利用を可能なエネルギーシステムの重要コンポーネントである、水素貯蔵装置は、目標とする効率と装置規模の面では、目標値をクリアしつつある。反応熱の有効利用に関しては、複数台タンク化とタンクの熱容量低減で、70%以上利用率達成の目途を得ている。

今後、水素エネルギーシステムを導入・普及をさせためには、耐久性の向上と徹底的な低コスト化を図ることが必要である。水素貯蔵装置では、特に合金材料、合金のリサイクル、合金製造時の低コスト化に関連する研究開発が必要である。

紹介した定置用水素エネルギーシステムは、従来のコージェネレーションシステムとはエネルギーを貯蔵することができる点で大きく異なり、また長期間エネルギーを保存できる点でも蓄電池より優れている。災害時対応や再生可能エネルギーとの連携による平準化などの付加価値を高め、その価値を享受できることから水素システムを導入をし、普及させていくことが望ましいと考えている。

本講演の内容は、NEDO受託事業による成果も含まれており、関係各位に感謝するとともに、
詳細の内容については、NEDOの報告書を参照されたい。

【プロジェクト名：H19～21年度 水素貯蔵装置及び水電解燃料電池一体型セルの開発】