

## 固体高分子形水電解セル・燃料電池の高温化を組み込んだ水素エネルギーシステムの検討

甲斐, 絢也

<https://hdl.handle.net/2324/4496066>

---

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 甲斐 絢也

論 文 名 : 固体高分子形水電解セル・燃料電池の高温化を組み込んだ水素エネルギーシステムの検討

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

二酸化炭素削減や環境保全等のエネルギー問題を踏まえ、再生可能エネルギー（以下、再エネ）の導入が進められている。しかし再エネは時空間的に不均一のため、再エネ起源電力の供給と電力需要との間にインバランスを生じる。インバランスを解消するためには電力貯蔵技術が必要であり、その一候補として水素エネルギーシステム(以下、水素システム)が挙げられる。水素システムは、再エネ起源電力を利用して水電解によって水素を製造、貯蔵し、貯蔵された水素により燃料電池発電するシステムで、比較的大規模であれば電力貯蔵技術として優位性がある。

水素システムの中核をなす水電解や燃料電池には、複数の候補が挙げられるが、そのうち高分子電解質膜を使う水電解セル PEMWE、および燃料電池 PEMFC が最も有望である。両者は共に高出力密度で、高速起動停止も可能で、再エネのインバランス補償としての相性もよい。しかしながら、これら二つの固体高分子形セルの設備コストは高く、大規模なシステム導入の足かせとなっている。

このような背景の中で、固体高分子形セルの高温化による低コスト化が図られている。運転温度を上げて過電圧を低減し、電圧改善した分を高電流密度運転に転化すれば、電極面積を縮小し、貴金属触媒など高価な構成材料を減らしてコストを低減できる。このようなシナリオのもと関連する研究が進んでいるが、高温化に伴う各過電圧成分の詳細な変化、温度と連動する適正圧力、高温化による低寿命化を考慮した最適運転条件が不明で、高温化によるメリットを十分に活かしていない。

そこで本研究では PEMWE および PEMFC の数学モデルを構築し、温度上昇による各過電圧の低減効果を定量評価し、各セルにおいて高温化を活かす最適な運転条件を提案し、高温化 PEMWE、PEMFC を組み込んだ水素システムにより充放電効率を改善し、複数の電力貯蔵技術と比較しながら水素システムの優位性を検証する。

1 章では、再エネ起源電力のインバランス解消として水素システムに期待が寄せられる背景、国内外での水素システムの実証・導入事例、水素システムにおいて中核をなす PEMWE、PEMFC の課題（低コスト化）を整理し、これら 2 つのセルの高温化による低コスト化のシナリオを示した。

2 章では、高温 PEMWE の数学モデルを構築し、高温効果による電解電圧の低減を最大限活かした高温 PEMWE の適正な運転条件をマップとして示した。特に、圧力、電流密度を同時に調節しながら、高温化と共に増加する酸素ガスの飽和度を 0.3 などと一定の数値以下に保てば、触媒層への極端な液水不足を回避でき、高温化によるアノード活性化過電圧への低減効果を最大限発揮できる事を明らかにした。

3 章では、PBI リン酸含侵膜を電解質膜とした高温 PEMFC の数学モデルを、特に、リン酸漏出による劣化も考慮しながら構築した。初期セル電圧は高温ほど高くなるが、高温にするほど劣化が加速し、10 年の使用期間の場合には下限温度の 120℃、携帯機器等 3 年の場合には 140℃で平均セル

電圧、および発電電力量が最大となった。このことは高温化による初期時のセル電圧向上よりも、高温化による劣化加速を重視して運転温度を選択する必要性を示唆する。負荷電流密度の選択においても、同様な配慮が要であることが分かった。

4章では、2章及び3章において構築した PEMWE と PEMFC の数学モデルも組み込んで、水電解、圧縮機、タンク、燃料電池からなる水素システムのモデルを構築して充放電効率を解析した。PEMWE を 100 から 130 °C に、PEMFC を 100 から 150 °C にまで運転温度を上げると、水素システムの充放電効率は 33 から 39 % と 6 % 改善するが、高温化してもなお Li-ion 電池システムの 75 % より劣る事が分かった。他方でエネルギー密度の点では、水素システムは Li-ion 電池のそれを上回ることも可能で、高温化すれば、より小さな電力貯蔵容量でも水素システムが優位になることが分かった。

5章では、水素システムを、より広い電力貯蔵容量の範囲で、揚水発電、フライホイール、Li-ion 電池の電力貯蔵技術と比較した。水素システムは都市型、病院/事業所用および家庭のいずれの容量範囲、貯蔵期間において適用できるが、設備コスト(\$/kWh)において最も安価な Li-ion 電池よりも 7.7 倍高いことがわかった。他方で、水素システムはエネルギー密度において都市型の候補(揚水発電)と比較して数 100 倍高いことが分かった。水素システムはコストの課題が残るが、エネルギー密度や保存性の点に面で優れ、僻地や災害非常用の電力貯蔵技術として有効活用できる事が分かった。

以上を 6 章で総括し、7 章で本論文の課題と展望について述べた。