

中東産油国における海水脱塩技術と水素製造技術、 水管理に関する調査研究

東京科学大学

准教授 時松 宏治

1. 調査研究の背景と目的

(1) 背景

国家経済・エネルギーを過度に化石燃料に依存する中東産油国にとり、脱化石燃料と脱炭素への取組みは難しい。日本と違い、例えば UAE の飲み水の 90%以上は海水脱塩技術（海水から淡水を製造する技術）による。中東産油国が脱化石燃料・脱炭素を目指し、非電力エネルギー（燃料など）に炭素を含まない水素に求める場合、その水素製造には淡水が必要となる。中東産油国にとっては、水素経済（エネルギーを水素に求める）と、飲み水や食料など死活問題とのトレードオフになり、海水脱塩技術の増強は必須である。

次の2通りの水素製造を対象とする。1つは水の電気分解の原理を用い再生可能エネルギーからの電力を用いて水素を得る（グリーン水素）。もう1つは化石燃料と水の分子結合を高温下で分解し水素を得る（ブルー水素）。海水脱塩技術の増強と水素製造はエネルギー消費の増大につながる。地球温暖化を懸念して脱化石燃料・脱炭素を目指すことが、環境面全般に良いことなのか、水素経済に移行するエネルギーシステムはどのような姿なのかも検討がない。

(2) 目的

水資源が乏しく脱化石燃料・脱炭素を進める中東産油国で海水脱塩技術による淡水製造を行い、その淡水から水素製造技術を用いて水素製造を行う技術評価を行うことにある。水資源の乏しい中東産油国地域（UAE）と、水資源が豊富な地域（ドイツ）における、水素製造時の海水脱塩と脱塩後の濃縮塩水処理を含むライフサイクルアセスメント（LCA）を実施する。また、水や水素の国家戦略の比較分析を行う。その上で、地球温暖化を抑制する目標設定のシナリオにおいて、グローバルなエネルギーシステムにおけるこれら技術の役割を評価する。

2. 調査研究の実施内容・方法

[1] 水素製造時の海水脱塩と排水処理の LCA

水素 1kg 製造時の海水脱塩による水製造と排水処理のプロセスにおける、水フットプリント、エネルギー利用、環境影響を把握するため、LCA を実施する。LCA の実施には、欧米と日本で多く利用されているソフトウェアを用いた。

[2] 水管理と水素戦略に関する国別レビューと比較

日本とドイツ（水資源豊富な地域）、UAE とオーストラリアの4ヶ国の水管理と水素の国家戦略を、電力部門脱炭素化、淡水管理、脱塩・濃縮塩水管理、水・水素政策統合、国際協力・国際認証の5つの観点からレビューを行い比較した。

[3] LCA を考慮したグローバルなエネルギーシステムでの水と水素利用

本項目では、エネルギー・水・土地・鉱産物という主要4資源の需要を満たす供給技術（需給モデル）、温室効果ガス排出による気温と海面の上昇（簡易気候モデル）、資源利用と気温・海面上昇に伴う環境影響（ライフサイクル環境影響モデル）を組合わせた、申請者独自のシミュレーションモデル（統合評価モデル）を用いた。エネルギーシステムのモデリングにおいては、海水脱塩からの脱塩水を水素製造用、灌漑農業用、生活用、工業用にリンクさせた。水素製造は淡水浄化水に電解と水蒸気改質をそれぞれ組み合わせた技術もリンクさせた。これ

らのリンクは、開発済みの水資源需給モデルに追加した。シミュレーションモデルの時間軸は足元から次世紀半ばまでであり、世界を10地域に分割し中東・北アフリカ（以下、MENA）はそのうちの1地域である。このグローバルで超長期の時空間スケールの中で、中東産油国における海水脱塩技術と水素製造技術が、地球温暖化を抑制する目標設定のシナリオにおいて、グローバルなエネルギーシステムにおける役割を評価した。

3. 調査研究の結果

[1] 水素製造時の海水脱塩と排水処理のLCA

表1にLCAの実施結果を示す。海水脱塩に水電解、天然ガス水蒸気改質をそれぞれ加えた技術と、UAEとドイツを対象とした。処理ありは、処理ありに処理分を上乗せした。文献調査に基づき、排水量の10%を処理するものと想定した。海水投入量が異なる理由は海水塩分濃度による。濃度が高いと脱塩性能が下がるため、その分投入量が高める必要性がある。

表1 海水投入量、エネルギー消費量、GHG排出量

		脱塩後の濃縮塩水処理なし						脱塩後の濃縮塩水処理あり						
		(1)	(1')	(2)	(3)	(3')	(9)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7')	(8)	(9')
T1	UAE	22.5	7.9	9.0	4.0	1.6	14.3	2.25	2.25	6.0	13.5	0.6	2.2	15.4
T1	独	18.0	6.3	9.0	3.5	1.8	9.1	1.8	1.8	5.3	9.45	0.5	2.8	9.8
T2	UAE	12.5	4.4	5.0	4.0	1.6	13	1.25	1.25	6.0	7.5	0.6	2.2	14
T2	独	10.0	3.5	5.0	3.5	1.8	8.3	1.00	1.0	5.3	5.3	0.5	2.3	9.0

T1 海水脱塩+電解

T2 海水脱塩+天然ガス水蒸気改質 (SMR)

(1)海水投入量 [kg=10⁻³m³]

(1')=(1)/(2.87E-3[toe/kg])水素製造当たりの水投入量 [m³/toe-H₂]

(2)水素製造に必要な純水量 [kg=10⁻³m³]

(3)海水脱塩に必要なエネルギー消費量 [kWh/m³]

(3')=(3)*2/(1) 投入当たりのエネルギー消費量 (排水脱塩処理なし) [kWh/m³]

(4)=(1)×0.1 (注:投入量=排水量のうち、10%を脱塩処理) [kg]

(5)排水脱塩処理済み排水量 [10⁻³m³]

(6)排水脱塩処理に必要なエネルギー消費量 [10⁻³kWh/kg]

(7)=(4)×(6) 排水脱塩処理用エネルギー消費量 [10⁻³kWh]

(7')=(7)/(1)*1000 投入当たりのエネルギー (排水脱塩処理あり) [kWh/m³]

(8)=(3')+(7') エネルギー消費量 (排水脱塩処理あり) [kWh/m³]

(9)GHG排出量 [kg-CO₂eq/m³] (排水脱塩処理なし)

(9')GHG排出量 [kg-CO₂eq/m³] (排水脱塩処理あり)

[2] 水管理と水素戦略に関する国別レビューと比較

国別レビューを踏まえ、表2のように定性的評価を整理した。

表 2 水管理と水素戦略に関わる定性的評価

	UAE	豪	日	独
電力部門脱炭素化	×	×	○	◎
淡水管理	×	×	○	○
脱塩・濃縮塩水管理	×	×	△	△
水・水素政策統合	×	×	△	◎
国際協力・国際認証	○	○	○	◎
総合	×	×	△	○

[3] LCA を考慮したグローバルなエネルギーシステムでの水と水素利用

気候政策シナリオは統合評価モデル分野の通例により、無対策の Ref シナリオと、2100 年時点で産業革命以降の全球平均気温上昇を 2°C 以内に抑える 2DC シナリオの 2 つを分析した。

(1) GHG 排出シナリオ

MENA では Ref シナリオと比較し、2050 年で約半減、2060 年では約 8 割減、2100 年ではニア・ゼロエミッション、と大幅な排出削減となっている。なお、2020 年比で 2050 年では約 20% 排出削減である。

(2) 海水脱塩と脱塩水

海水脱塩を行うために投入される海水量は現状では約 40Gm³/yr。このうち MENA は世界需要全体の 4 割弱を占める。2100 年には世界需要全体は約 3-4 倍増となり、MENA がいずれのシナリオでもほぼ全量を占める。

これだけ MENA で海水投入量が増大するのは、淡水（表層、地下）の資源量を他地域では 10-20% の使用割合であるところ、MENA では 2030 年には既に全量使っているためである。同地域では 2 つのシナリオいずれも今世紀末には、海水脱塩化のための海水投入量は約 25 倍に増加する。脱塩水の用途は、灌漑農業でも生活用水と同程度に増大し、生活用水は 5-6 倍、工業用水は 40 倍に増大する。

水素製造（電解、SMR）と組み合わせる海水脱塩に投入される海水量は、世界全体でも 2100 年まででも 1% にも満たず、同地域では 2DC シナリオで 1.5% である。

(3) 水素

MENA における水素供給は全量が脱塩水の電気分解であり 2030 年に比べ 2100 年には約 15 倍に増大する。電気分解による製造は若干程度である。水素需要はほとんどが運輸部門であり、発電と熱での利用は極僅かである。

4. まとめと本研究の展開ほか

本調査研究では、海水脱塩と電解、水蒸気改質をそれぞれ組合わせた水素製造技術の LCA を実施した。また、水管理と水素戦略に関する国別レビューと比較を行った。LCA 実施結果と地域別の水管理と水素戦略を踏まえて、統合評価モデルの入力データとし、グローバルな気候政策シナリオ下で統合評価モデルにより評価を行った。

今後の展開は 2 つある。1 つは水不足地域での LCA による比較分析である。UAE を代表させたが、オーストラリアやスペインのようにエネルギー構成が異なると、LCA の実施結果も多変化する。表 1 は LCI（インベントリー分析）であるが、LCIA（ライフサイクル環境影響）を行うことで、気候変動や富栄養化という環境影響で地域と技術の比較分析が可能になる。さらに、統合評価モデルにより資源ネクサスの文脈で、海水脱塩と水素製造技術の評価も可能となる。