

【新エネルギー】

水素経済への製造 R&D ロードマップ要旨(ドラフト版)(米国)

要 旨

エネルギー安全保障、環境基準および経済的福祉を含む重要な国家のニーズを満たすために、米国大統領は"水素燃料イニシアチブ(HFI: Hydrogen Fuel Initiative)"および"製造イニシアチブ(Manufacturing Initiative)"を立ち上げた。

HFI は、商業ベースに乗った水素エネルギー燃料電池に必要な技術の開発により、米国の国外石油依存の増大を逆転させることができるであろう。米国の製造部門全体が取り組む製造イニシアチブは、米国の製造業を強化し、新しい職を生み出し、米国の製造業が国際市場の中でより競争力を持つことを助ける。

"水素経済への製造 R&D"に関するこの報告書は、大統領のこれらの2つのイニシアチブの交点における活動について記述している。

製造イニシアチブに対応して、大統領の全米科学技術会議は製造 R&D について省庁間の作業グループ(IWG: Interagency Working Group)を設立した。IWG は、廉価な大量生産システム、高度な製造技術、生産インフラストラクチャならびに計量と基準のような製造性の問題に関して焦点を向けた現在の連邦の取り組みを調整し、梃子入れをする。

IWG は米国商務省によりとりまとめられている。IWG の3つの技術的優先事項の1つである、"水素経済への製造 R&D"は、エネルギー省(DOE)がとりまとめている。DOE によるこの他省庁協力は、現在、HFI によって進行中の技術開発の取り組みを補足する。

我々は、水素エネルギー経済の展望を実現するという著しく大きな挑戦を克服しなければならない。これらは、水素生産および輸送のコストを削減し、自動車搭載水素貯蔵システムの容量を増大しコストを削減する。また、自動車燃料電池システムの耐久性を増加させコストを削減することを含んでいる。

HFI の目標は、これらの技術が2020年までに消費者市場に浸透し始めることができるように、2015年までに、産業界が水素燃料電池自動車および燃料インフラに関して商業化決定ができる点にまで水素技術を進展させることである。2020年までに水素技術を商業化するには、ただちに製造問題に取り組むことが必要である。

製造 R&D は、市場導入および経済成長に必要な製造工程および供給チェーンを確立するために必要である。このロードマップは、水素経済のために米国の製造部門を変化させる製造 R&D に焦点を合わせている。

製造 R&D への挑戦

水素エネルギー経済を支援するために、米国製造部門の変化に対決するいくつかの挑戦がある。我々は以下のことをなさねばならない、

- 新しい材料と材料応用のための革新的で廉価な製造技術の開発
- 実験室の製作方法を廉価な大量生産への適応
- 進展中の水素生産のコスト効率の良い製造技術の確立と改良
- 水素システムへの顧客の要求を満たす
- 製造とエネルギー両分野の産業界の多様性と大きさに焦点をあてる
- 水素システム要素の供給基盤の開発

水素経済への製造 R&D に関するワークショップ

DOE は、商務省国立標準技術研究所(NIST)からの支援で、水素経済への製造 R&D に関してこれらの問題に取り組むために進む道を識別するワークショップを実施した。このワークショップは、製造が面する以下の主要問題について議論するために、産業界、大学、国立研究所および政府代表を呼び集めた、

- 燃料電池
- 水素生産および輸送システム
- 水素貯蔵システム

ワークショップ参加者は、水素技術製造が面する重要な技術的問題を識別し、その商業化を促進するために製造 R&D の優先事項を提言した。これらの提言が盛り込まれたこのロードマップは、水素技術の大量生産に必要な重要な製造プロセスの研究開発を導くために利用されるであろう。

主な調査結果

この要旨は、主に商業化に近い技術に注目して、製造 R&D で取り組まなければならない主要なトピックスと共に、水素経済への初期段階の遷移期間に、製造されなければならない水素要素とシステムのためのワークショップの調査結果を含んでいる。

水素燃料イニシアチブ(HFI)により開発中のより長期的な技術は、今後の製造 R&D 努力で取り組まれる。個々のトピックの取り組みへの進み方は、このロードマップの本体で明らかにされている。

高分子電解膜燃料電池

高分子電解膜(PEM)燃料電池は、セルスタック(セル膜、触媒層、ガス拡散層、シール、バイポーラプレート、冷却器、ガスマニホールド)、バランスオブプラント(BOP :

balance-of-plant)(水や熱の管理モジュール、水素と酸素の管理モジュール)、と電力調節およびシステム制御から成っている。

燃料電池スタックおよびそれぞれの部品の製造は初期段階にある。燃料電池は、これまで実験室的製作方法で作られてきており、主に寸法は拡大化されたが、大量生産方法が取り入れられていない。

水素および酸素供給サブシステムおよび水や熱の管理サブシステムのような主要なサブシステムは、部品の連結により個々に組立てられる。例えば、冷却システムに熱交換器を接続したり、送風機への給湿システムの統合などである。

全体の発電システムは、サブシステムの統合により通常構築されている。しかしながら、サブシステムはそれぞれ労働集約的なプロセスによって別々に組立てられている。

PEM 燃料電池の大量生産への移行は、大量生産工程と調和した品質管理と測定技術が確立されることを必要とする。

メーカーは、部品、モジュールおよびサブシステムのサンプリング抜取とテストを削減するか除去させるために、燃料電池部品の製造に特化したプロセス制御戦略を必要とする。

燃料電池の生産が拡大するときに、我々は、燃料電池システムの性能と製造工程パラメーターとの間関係をはっきりと理解しなければならない。このような理解は、恐らく、燃料電池設計、耐久性および規格に主要な役割を果たし、製造性設計の実施に不可欠である。

モデル化とシミュレーションはこの理解を進展させる際に重要な役割を果たすことができる。包括的で分野横断的な製造工程技術、信頼できる計量および基準についての情報を含む知識ベースの確立は、PEM 燃料電池製造を進展させるであろう。

製造 R&D は次の技術を必要とする、

- 電解膜電極アセンブリ(MEA)
- バイポーラプレートとセルスタックの組み立て
- 水と熱の管理サブシステム
- 水素と酸素の管理サブシステム

PEM 燃料電池で必要な製造 R&D の最優先事項は、この要旨の結論の表 1。(後出)に要約されている。製造 R&D の必要性は、ワークショップ参加者によりその優先度が高、中、低で評価された。それらはすべてはロードマップに記述されている。

水素生産と輸送

大規模水素輸送インフラが無い時の、水素経済への移行初期段階の水素の生産および輸送は、恐らく、エタノールあるいはバイオ油のような天然ガスまたは再生可能エネルギー基盤の液体燃料の分散改質または分散電気分解が占めるであろう。

今日の水素生産は資本集約的であり、また、コストへの資本拠出は、分散応用のために設計された小さな水素生産設備ではより大きくなる。天然ガスの分散改質に対するコストへの大きな資本拠出は、燃料加工システムの現地製造の結果であり、それらは改質器、転換触媒床および圧カスイング吸着浄化サブシステムを含んでいる。

さらに、分散型水素ネットワークに必要な規模の電気分解ユニットの製造は非常に制限されている。このロードマップは、外気温度に近いアルカリおよびプロトン交換膜電解槽に注目している。高温固体酸化物電解槽は、商業化はそれほど早くはなく、分散生産よりもむしろ集中生産により適しているため、ここではカバーしていない。このロードマップは近々の水素分散生産に注目しているため、大量貯蔵が製造 R&D で取り込まれる水素配送のただ一つの要素である。

製造 R&D は次のプロセスで必要である、

- システム要素の結合方法
- コーティングと薄膜蒸着
- 加圧システムと部品
- 連続的製造方法

表 2(後出) に非車載水素生産貯蔵システムの製造 R&D 優先ニーズを要約している。

水素貯蔵

高圧の圧縮ガス貯蔵(水素自動車の 90%以上)と大気圧に近い液体水素貯蔵の 2 つの貯蔵技術のうちの 1 つは、現在、実質的にすべての水素燃料供給自動車で採用されている。材料、組み立てプロセスおよび性能要件の点から非常に大きな差があるので、これらの 2 つのオプションはまったく異なる製造法が必要である。

更に、いくつかの貯蔵材料と技術は強い開発努力を受けている。そのうちの 1, 2 は、現在のオプション以上の著しく改善された性能を持って近い将来に出現するかもしれない。従って、これらのシステムに関係する製造要件がワークショップにより議論された。これらの技術は、化学的固体システムと高圧極低温システムの 2 つの非常に広いカテゴリーに分類される。

製造可能な車載貯蔵システムは、ユニットコスト製造時間の劇的な低下を要求する。さらに、特に合成タンクの場合には、製造機器および製作への新しいアプローチの開

発への大きな投資を必要とする。また化学貯蔵システム部品や極低温装置部品でも同様である。最も大きなチャレンジは、合成タンクの大量生産にある。

すべての貯蔵システムに共通の部品は、圧力調節器、ソレノイドバルブ、過圧防止装置、配管および取付金具のような多くの BOP 部品を含んでいる。これらの部品は、一般に現在の金属加工によって製造でき、貯蔵システムの製造に対して問題がないように思われる。

製造 R&D は次の分野で必要である、

- 合成タンクの製作プロセス
- 化学貯蔵システム組立技術
- 製造工程のモデル化とシミュレーション
- 大量生産と互換性をもつ貯蔵システムと部品組み立ての認証法

自動車に水素を搭載格納するシステムが必要とする最優先の製造 R&D は、このサマリーの結論の表 3.(後出) にリストアップされている。

分野横断的製造 R&D

水素経済のための製造は、このロードマップで議論された広いカテゴリーに入る種々様々な部品およびシステムをカバーする。これらの部品やシステムの製造は、連続的な化学プロセスから離散的な機械製造プロセスまでの技術領域を必要とする。

製造 R&D は次の分野横断的トピックスで必要である、

- 計測および基準
- モデル化とシミュレーション
- 知識ベースの開発(文書、データベースおよびモデルを含む)
- 製造と組み立ての設計
- センシングとプロセス制御

大量生産メーカー、材料供給業者、技術開発者およびシステムインテグレータを含む学際的チームが、これらのトピックスの製造 R&D を最も有効に実施できる。製造 R&D の結果は、安全対策とコードおよび基準のための重要な情報を提供する。また、それらは進行しながらコードと基準に組み入れられるべきである。

スケジュール・主要機関・評価指標

製造 R&D は、できるだけ早く始め、技術開発相乗的に実施される必要がある。図 1. に示されるように、水素経済のために米国製造部門の変化を支援するために HFI の不可欠な部分であることが必要である。

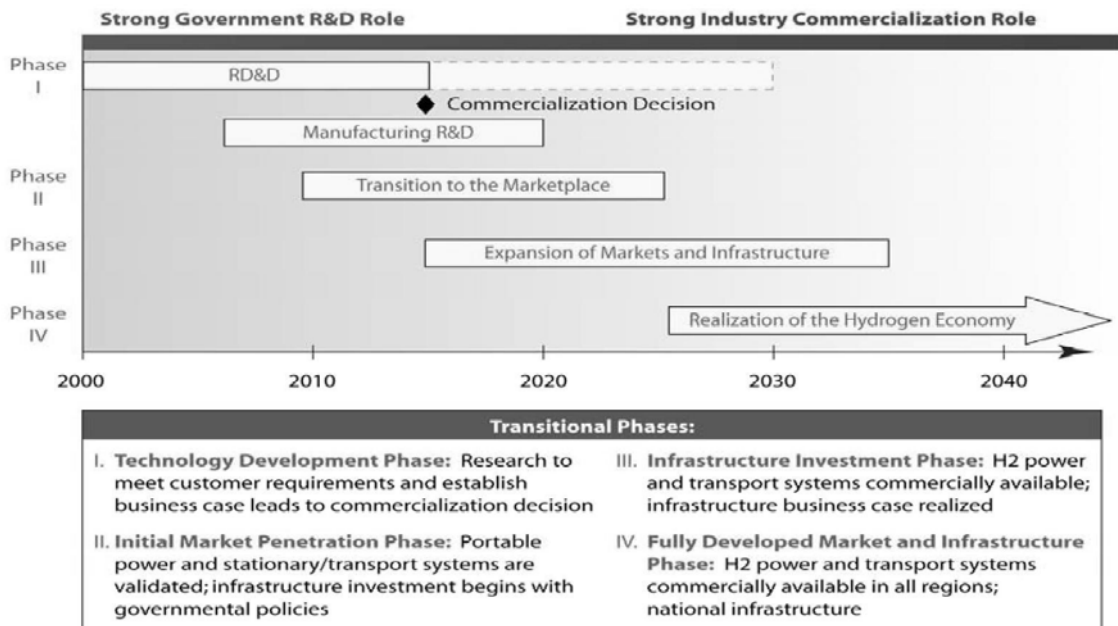


図1 . 製造 R&D による水素経済スケジュール

製造 R&D の下での主要な活動は次のものを含む、

- 製造 R&D ロードマップの開発(当該文書)
- 官民の製造 R&D のための詳細なプログラムの計画作成
- 国立研究所や大学主導のチームによる総括的で競争以前の製造 R&D の実施
- 産業界主導チームによる競争的に裁定された拡張可能な製造プロセスの開発

DOE は、水素経済のための製造 R&D の進展と利益を評価する指標を確立する。DOE が、米国の水素および燃料電池研究開発社会、および米国の製造社会の関連部分と協議する時、これらの評価指標はより詳細な研究開発の計画に従って進展するであろう。評価指標は、水素を生産、輸送、貯蔵、利用するための特定なハードウェア・システムを製造するコストに注目する。このロードマップは、水素技術がさらに開発されるとともに更新されるであろう。

以上

(出典 : Roadmap on Manufacturing R&D for the Hydrogen Economy, http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/roadmap_manufacturing_hydrogen_economy.pdf)

表 1 . 製造 R&D 優先ニーズ概要：PEM 燃料電池

- 電解膜電極アセンブリ(MEA)の物性ならびに製造特性と MEA の性能特性間の関係の確立

MEA の物性と性能特性を関連させる製造 R&D が最優先のニーズである。実験施設内での製造特性と性能ならびに耐久性に係る本来の位置での特性の間の関係の確立する必要がある。その関係は、経験的、あるいは物理に基づく伝達関数であるかもしれない。このアプローチの支援は、連続した検査を可能とするセンサー技術の強い必要性であり、統計的品質管理のデータベースを提供する。

- いくつかの製造段階での PEM 燃料電池(特に MEA)のコストの同定

産業界は、燃料電池開発の連続性(特に MEA)が重要な問題と考えている。少量生産レベルから大量生産レベルまでの推移を取り込む広範囲の原価分析が、製造プロセス開発で進展する目標を確立するために必要である。

- 機動的でフレキシブルな製造の開発

MEA の材料および設計の変化に応じた製造の変化は、高コストに帰着する。より多くの柔軟性(機動性)および一貫生産アプローチが、MEA の製造および組み立てのための高い優先順位である。産業界は、大きな資本支出を招かずに、開発中の電解膜、触媒およびガス拡散層に適応することができる機動的な製造プロセスを必要とする。

- 製造パラメータの触媒層への影響についての理解の開発

高速製造プロセスを実施させるために、触媒層製造と触媒層の性能および耐久性との関係を明らかにする必要がある。新しい製造方式が、低い貴金属コスト目標を満たす新触媒層を作るために重要となる。

- 高速シール応用戦略の開発

端面と境界面のシールおよびガスケットの組み込みを含んで、MEA 部品を統合するために高速プロセスを開発する必要がある。連続プロセスでバイポーラプレートのシールと MEA シール組立プロセスの結合は、電池スタック組み立てのコスト低減をもたらすことができる。

- MEA 製造モデル化ツールの適用と開発

製造 R&D と技術開発によるコンピューター支援設計ツールとの統合は、性能とコスト低減の機会を進める。

- 電解膜欠陥の評価と製造技術の開発

電解膜と MEA 製造の連続コントロールを可能とするために、電解膜の欠陥およびその原因を評価すること。

- バイポーラプレートの高速成形、型抜き、および成形の開発

現在のプロセスは個々にバイポーラプレートを形成し機械加工している。バイポーラプレートの製造は、PEM 燃料電池の高い許容値の要求を維持する新しい高速成形、型抜き、および成形プロセスの開発を必要とする。特にバイポーラプレート製造の迅

速なプロトタイプ化と柔軟なツール化は、重要な開発パス上にある。

- セルスタック組立て自動工程の開発

自動プロセスは迅速なセルスタック組立てのために必要である。製造性設計と組み立ては、セルスタック組み立て中に各セル部品を測定する必要性を除去し、同一のセルをもたらすプロセスを可能にするために、セルスタック開発に適用されるべきである。

- 高速溶接/溶着の開発

現在のレーザ溶接方法は、金属バイポーラプレート製作には遅すぎまた高価すぎる。分速 50 メートルを越える直線溶接速度を達成するために微細溶接バイポーラプレート用ファイバーレーザーの開発が必要である。

- 低価格で高性能な熱交換器用材料の開発(材料問題)

PEM 燃料電池は、バランスオブプラント(BOP)内に少なくとも 4 個の熱交換器を持っている。大量にまた低価格で製造できる合成熱交換器あるいはプラスチック熱交換器が、PEM 電力システムの製造に廉価なパスをもたらすであろう。これらの新しい材料のための製造工程が開発される必要がある。

- 新しい材料とプロセスの適格性を与える手順の確立(材料問題)

すべてのメーカーのために PEM 燃料電池と互換性をもつ材料を識別する必要がある。現在、個々の燃料電池メーカーは受理可能な材料を特定できる。すべての燃料電池メーカーに受理可能な材料のとりまとめは、供給チェーンネットワークの設立を向上させる。PEM 燃料電池の製造で使用される新しい材料に適格性を与えるための手順の開発が必要である。

- 骨組みの無い燃料電池システムの開発(設計問題)

PEM 電力システムは、現在、電力システム箱に部品とサブシステムをはめこむことにより建造されている。ユニット組み立て設計は、サブシステムの相互関係に取り組み、電力システムの製造および組み立ての概念を開発するであろう。統合システムの部品数を減少させるために、製造と組み立て設計は BOP に適用すべきである。

- 暫定生産量用の製造組立工程の開発

1 年あたり 5,000 ~ 50,000 台の電力システムの暫定生産量にふさわしい製造アプローチは、大規模な輸送生産プロセスへの道である。迅速なプロトタイプ化と機動的製造は、PEM BOP および PEM 電力システムの構築のために開発されている経路である。

- 柔軟な自動化製造技術設備の確立

BOP や電力システムの組み立ておよび部品製造に関する柔軟で自動化された製造技術をテストするために、全国的な施設が必要である。それは製造工程を開発するためのテストベッドを提供することができ、部品メーカーや燃料電池メーカーが利用可能で、PEM 燃料電池製造 R&D のための情報交換の場として役立つことができる。

- 迅速な漏れ検知のための生産ハードウェアの開発

BOP と電力システムのリークテストは、今日の PEM 電力システム製造においては時間を消費し高価格な工程となっている。生産ライン中でまたラインの速度で実施することができる迅速なリークテストが必要である。

表 2 . 製造 R&D 優先ニーズ概要：水素生産と輸送

- 構成部品の集積化を促進する接合方法の開発
構成部品の組込は労働集約的な結合が必要である。メーカーは、ロボットで迅速に処理でき、異種物質の連結に適用可能で、またリークのない水素システムを可能にする、高信頼性のばらつきの少ないプロセスが必要である。
- 高温を必要としない金属接合方法の開発
部品を連結する前に改質器と電解槽部品に触媒が加えられる。高温接合工程は、触媒を破壊したり、あるいは不活性にすることがある。メーカーは、接合中の部品上の触媒被覆を破壊しない低温接合プロセス、例えばレーザーまたは摩擦圧接を必要とする。
- 非一様な表面への触媒被膜の蒸着
例えば、熱交換器表面に直接触媒を付けるように、非一様な表面に触媒被覆を付ける標準化された自動方法は、大規模に改質器や転換触媒を製造する能力を加速する。このアプローチは、さらに電気分解用電極基板上の触媒蒸着に役立つ。連続型の品質管理法の開発が必要である。
- 保護被膜を持つ反応槽製造
メーカーは、材料費を低減するために低価格の金属基材にニッケル被覆加工を適用する改良された方法を必要とする。耐腐食性反応炉を可能にするろう付けのための合金の開発が重要になる。
- 大型圧力水素容器の組み立てと熱処理(非車載貯蔵装置用)
圧力容器として必要な機械強度保持力は、水素保持に必要な厚い壁によって複雑になる。厚い壁の容器の熱処理の進歩は、低価格な生産プロセスをもたらすであろう。レーザー熱処理は、容器の連続型プロセスの機会を提供する。
- ファイバーから大型合成圧力容器製造の研究開発の実施
ファイバー巻線合成圧力タンクは、現在、ハンドレイアップ技術を使用して生産されている。金属タンク、合成タンクおよび高分子タンクの改良された製造法は、大規模加圧水素貯蔵の問題を解決するために必要である。例えば改良されたアニーリング法、炭素ファイバーの局部巻線などがある。
- 材料とプロセスを評価する加速試験方法論の開発
製造工程および最終用途(製品)応用の性能を迅速に評価する加速試験方法が必要である。

表 3 . 製造 R&D 優先ニーズ概要：水素貯蔵

- 炭素ファイバーのコスト削減プロセス技術の開発

合成タンクは、現在、炭素ファイバー品位のポリアクリロニトリル前駆体から作られた強化ファイバーを使用している。炭素ファイバーの価格は、典型的には約\$20/kg である。ファイバーコストの約 60%の削減あるいは約\$6/kg は、合成タンク単価に大きな節約を生み出す。製造 R&D は、マイクロ波またはプラズマ処理のような炭素ファイバーの低価格の低エネルギー分解プロセスの開発を必要とする。

- 高圧合成タンクの新製造法の開発

ユニット当りの製作時間、すなわち成形時間を促進できる新しい製造法が必要である。製造技術の潜在的な進展には、高速ファイバー巻線(例えばマルチヘッド)、新しいファイバー巻線戦略とバッチ処理に対して連続的な機器、例えば引抜成形プロセス等を含んでいる。室温硬化用形成前処理、湿式巻付プロセスおよび温湿式巻付用ファイバー埋込み熱可塑性材料を含んで、樹脂基質を利用するための新しい製造工程も検討されるべきである。

- 基準高圧貯蔵システム製造技術の開発

これは、より高いエネルギー密度という設計問題であるが、改良した円筒タンク形状の製造を可能にするためにタンク基準を改善することにより、炭素ファイバー巻線とファイバー配置製作のための新しい製造法を適用することができるかもしれない。

- ファイバー配置プロセスの改善

ファイバー配置技術は、必要とされる炭素ファイバーの量を 20~30%減らすことにより、ユニットの価格を低下させることができる。このアプローチは、さらに高圧タンク基準の改善を可能とするであろう。しかしながら、このプロセスは遅い。製造所要時間を改善するために、新しい方法と設備が必要である。