

論文の内容の要旨

論文題目 「A Proposal for Synchronic Transportation of Water and Energy
by Hydrogen Energy System Utilizing Hydrogen Storage Alloys」

(水素貯蔵材料を用いた水素エネルギーシステムによる
水とエネルギーの共輸送の提案)

学位申請者 ZHOLDAYAKOVA SAULE

キーワード： 水素エネルギーシステム 水素吸蔵材料 Ti系合金 メカニカルアロイニング
ライフサイクルアセスメント

本研究では、SDGs(持続可能な開発目標)の「目標6(安全な水を世界中に)」、「目標7(エネルギーをみんなに)」に相当する例として、再生可能エネルギーの導入において、水素をエネルギー媒体としたシステムを取り上げ、エネルギー供給のみならず、さらに飲料水の供給を連動させた共輸送の定量的モデルを提案した。

世界の水資源の現状は、日本では想像不可能なほど非常に深刻な状況にあり、4人に1人は慢性的な水不足の影響を受けると言われている。例えば、カザフスタンでは電力より清潔な飲料水の価格が高く、年収の1割は水料金となっている。

こうした状況を踏まえ、本研究では、恒常的に飲料水が不足しているカザフスタンを例に、再生可能エネルギーの導入を基本としたエネルギー事情の改善および大都市における飲料水供給問題の解決に向け、その実現可能性を検討した。本研究では、水素エネルギーを基軸に、エネルギー媒体および飲料水源としての水素の利用について実現性の高いモデルを提案した。さらに一般化した場合においても本モデルを適用できるようエネルギーと供給可能な飲料水量との定量的共輸送モデルを構築した。モデルでは、安全性も踏まえ、また既存設備の利活用も視野に入れ、水素吸蔵材料を用いた貯蔵運搬手段を用いることとし、材料合成の手法についても実験的な検討を詳細に行った。以下に各章の要約を示す。

第1章では、具体的な検討を行う上で対象としたカザフスタンの飲料水およびエネルギー供給の現状について整理した。カザフスタンはユーラシア大陸の中央部に位置する国であり、エネルギー自給率は209%ではあるものの、その99%が化石エネルギー資源に基づいている。また、前世紀にソビエト連邦下に建設された給水システムは、その老朽化による漏水などの問題が大きく、その更新には多額の設備投資が必要となっている。一部の地域では、東西冷戦時代の大気中核実験の影響も残り、土地利用と併せて水資源の利用も制限されている現状がある。また流入する河川水の約半分は近隣諸国からであり、各国における農業用水の利用により、流入量は毎年減少し、かつ汚染が深刻化している。こうした中、限られた国内の水資源から大都市圏への飲料水の供給が大きな課題となってきている。

第2章では、モデルの基礎となる水素エネルギーシステムについて具体的な構成を提案した。水素は単位質量当たりのエネルギー量が大きく、輸送が容易であるとともに状況に応じて貯蔵形態を選択することが可能であり、加えて水素吸蔵材料を活用することができれば、液体水素

のような断熱容器を必要とせず、既存の設備の利用も含めた輸送・貯蔵が可能となり、再生可能エネルギーの活用も一層具体化する。ここでは水素エネルギーシステムにおける水素の製造、貯蔵、運搬、利用の具体的な構成を整理した。

第3章では、カザフスタンの現状を想定し、飲料水に適した水源と日射量の多い場所から遠距離にある大都市へのエネルギーと飲料水の共輸送を推計した。太陽光発電による水素の生成、鉄道による水素の輸送、都市域での発電および発電に伴い生成する飲料水を取得できる水素燃料電池の利用を想定した。現代の社会は、水素をエネルギー媒体として利用する水素エネルギー社会の端緒に位置し、その利用経験が乏しいことから、安全性を考慮し、輸送、貯蔵手段として、水素吸蔵材料を用いることを前提とした。輸送では、ユーティリティ、経済、環境、時間の面で他の方法と比較して最も実用的であり、既存の設備でもある鉄道の利用を提案した。平原が続くカザフスタンにおいては、惰性で長距離を移動できる手段となる。検討の結果、水源と大都市の間を、50両程度の編成による貨物列車を1日あたり10往復させることで、100万人規模の年間需要電力の約4割を供給できること、さらに必要とされる飲料水の約1.3倍を供給できる結果となった。

第4章では、水素吸蔵材料の作製について検討した。カザフスタンで多く産出され、資源量としても豊富でコストが比較的安価であり、水素重量密度がおおよそ1.5wt%程度となるTi系材料を用いることとした。また、材料の水素との反応性を高めるために、同じく国内で採取可能なMnを添加する組成を提案した。Mnは蒸気圧が高く、通常の溶解法では作製が困難であることから、作製手法として、大容量のエネルギー施設を必要とする溶解法の代わりにメカニカルアロイング（MA）法を適用し、試料の調整方法について詳細に実験的検討を行った。MA法は、機械的粉碎と同時に、異種金属の合金化を促進し、異なる蒸気圧金属同士の合金化に適していると同時に、粒子表面近傍の結晶性を低下させ、材料と気体水素との反応における初期活性化を容易にするというメリットも期待されている。

第5章では、材料合成方法としてのMA条件として、Ar等の乾式条件下では、ステンレス製ポットの内壁との反応が著しく、目的とした組成が得られないことを見出した。その場合、脱水ヘキサンを封入したポットを用いることで、組成調整が可能であることを明らかにした。また出発材料であるTiとして、金属Tiと水素化合物であるTiH₂とを用いた場合に得られる合金の特性についても検討をおこなった。その結果、TiH₂を用いる場合、より強い共有結合性を有していることから、脆くなることで微粉化は進むものの、他の元素との合金化が進みにくいことを明らかにした。Ti系合金のメカニカルアロイングによる合成においては、TiH₂ではなく、金属Tiを用いる方がより早く、すなわちより少ない投入エネルギーで貯蔵材料の合成が可能になることを初めて明らかにした。

第6章においては、水素エネルギーシステムの導入による環境負荷影響を探るため、ライフサイクルアセスメント（LCA）分析について日本のデータを参考に誘発CO₂量の推計を行った。現在の火力発電所から排出されるCO₂量を95%削減できる結果となった。

第7章は、結論を述べている。本研究で提案した水素エネルギーシステムは水とエネルギーの共輸送システムであり、再生可能エネルギーの利用の拡大および温室効果ガス排出量の削減に貢献できるのみならず、飲料水不足地域への水供給を可能とするモデルである。水素貯蔵合金を用いた水素の鉄道での輸送によって、大都市だけではなく他の地域、地方への供給も可能になり、さらに近隣諸国へのエネルギーと水の輸出を可能にする。今後、本研究で検討しているシステムを水不足の問題を抱えている多くの地域や国々への展開が可能である。