

論文の内容の要旨

論文題目 風力エネルギーの高度利用法を目指した
水素/メタン混合ガスの計測技術に関する研究

氏 名 小 林 洋 平

第一章は、序論である。地球温暖化対策の切り札として自然エネルギーの導入促進が急務であり、エネルギー密度の高さから採算性に優れる風力発電に対する期待が急速に高まっている現状について述べた。

第二章では、地球上に賦存する風力エネルギーの利用可能量を評価した。地理情報システムを活用して、様々な地形要素と気象データの関係を世界規模で統計学的に解析した。地形因子を解析する為に地表をおよそ38万のメッシュに分割し各メッシュの持つ地形因子を算出した後、風速の高い地点が有する特徴を見出そうとした。この結果として算出された風力エネルギーの賦存量は、 1.73×10^{20} [J]である。この数字は、2100年に地球上の人口が130億人になると仮定し、その人々が現在の日本人と同等のエネルギー消費をしたと仮定するとエネルギー需要の7.7%を供給できる量である。また、海に近い場所に風力エネルギーが多く賦存することを示した。

第三章では、膨大に賦存するエネルギーが十分に活用されない理由として風力エネルギーの不規則性・希薄性があるとし、この問題の解決策として水素/メタン混合ガスベースのエネルギーシステムの有効性を示した。具体的には、風力エネルギーの電気出力により発生させた水素を天然ガスのパイプラインで流送する場合の有効性を示した。風力エネルギーの発電出力を水素化し、パイプラインでメタンガスと一緒に流送する場合、不規則ゆえに発生する水素の量は常に変動する。その為、水素/メタン混合ガスの混合割合を安全に計測する技術の開発が重要となることを述べた。

第四章では、水素/メタン混合ガスベースのシステムを構築する際に必要とされる水素の濃度を安全に計測するセンサーの研究開発を行った。不規則な風力エネルギーの電気出力により発生する水素の濃度は、頻繁に変動する。この変動を監視することは水素/メタン混合ガスを流送するパイプラインの運用上、最重要課題である。なお、ヨーロッパやアメリカでは、水素/メタン混合ガスに関

する研究はハイタンあるいはナチュラルハイプロジェクトと称して重点的に研究されているが、本研究で提案する様な安全な計測手法に関する報告はない。水素濃度を計測する為の従来手法は、およそ 150°C に熱せられたタングステンワイヤーの抵抗値変化を計測することにより行われてきた。しかし、多量の電流が流れる裸の銅線を水素雰囲気中にさらすこの手法は、災害時や回路の故障時等に着火の危険が常につきまとう。専門家による使用ならば問題も少ないが将来の水素社会では家庭に来る都市ガスの配管でもこの様なセンサーが使用される必要があり、不安が残る。本研究で提案する計測手法は、一定の周波数で振動する水晶振動子を駆動する電力の変化を計測し、ガスの状態変化を検知する物理センサーであり、熱や光を媒介としないので安全性において非常に優れる。

ガス雰囲気中で振動する水晶振動子が受ける抗力は、衝突する気体分子の個数で表わされる圧力、衝突する分子の運動エネルギーで表わされる温度、振動子と気体との摩擦で表わされる粘度の三つの因子によって支配される。温度と圧力とガスの混合割合を精密に制御された実験装置を設計・製作し、各因子に対する依存性の入念な計測を行った。水晶振動子の温度変化に対する感度は比較的小さい。圧力に対する感度は分子流領域では大きい、実際に使用される粘性流領域ではそれほど大きくない。混合割合に対する依存性を調べる目的でガスの状態をメタン 100% から水素 100% まで変化させて実験を行った。その際に計測された温度の条件は 20°C から 70°C までである。混合割合に対するセンサーの感度幅は、ガスの状態に応じた変化を示した。この原因が混合気体の粘度変化の特性であることを確認する為、一般的な粘度計測手法である細管法による絶対粘度測定を行った。実験結果は粘度と混合割合の非線形性を示し、ガスの状態に応じてセンサーの感度幅が変化する原因を確認した。温度と圧力を正確に管理された状態でセンサーの示すばらつきは 0.01% である。水素濃度の高い混合割合では、この計測手法が熱線を用いた従来手法よりも高い分解能を示した。

さらに、第四章でこのセンサーを粘度計として応用する可能性についても検討を加えた。仮定に基づき解析的に解かれたナビエ-ストークス方程式の解析解はセンサー周りの流れの状態を記述する運動方程式であり、電圧として出力されるセンサーが受ける抗力値を絶対粘度に換算できる。換算された粘度は、等しい混合割合の条件で比較的正しい値となった。混合割合の変化に応じてセンサーが描く出力が精密であり、粘度計として利用できる可能性を示した。

第五章ではここまで行なわれてきた研究を総説し、水素/メタン混合ガスをベースとしたエネルギーシステム実現の為に計測技術の研究開発について結論を述べた。