

熱伝導式水素センサの加熱冷却曲線のシミュレーション

機械情報システム課 中村陽文、清水孝晃、林 千歳*1
若い研究者を育てる会 北陸電気工業株式会社 中野貴之

1. 緒言

化石燃料の代替エネルギーとして、水素の利用は有力視されている。一方、水素の安全利用の観点から、水素漏れが発生した場合に水素を瞬時に検出することが可能な水素センサが必要不可欠となる。本研究の熱伝導式水素センサは、発熱させた金属コイルにおいて、発熱前との温度差がある特定の値まで冷却されるのに要する時間を計測することで、環境温度の影響を受けずに水素濃度を検知できるといった独自の長を有する(以下、この温度差および冷却時間をクロス点とする)。しかしながら、用いる金属コイルの材料、形状等によりクロス点の位置およびセンサ感度は変化することが実験的には分かっているものの、その詳細な挙動に関してはいまだ明らかになっていない。

そこで本研究では、センサの設計・開発の効率化のために、熱伝導式水素センサの加熱冷却曲線をシミュレーションで再現することを目指し、熱伝導方程式による解析解の導出および有限要素法による熱流体解析を行った。

2. 実験方法

コイルを1次元の棒とみなす数理モデルから解析解の導出を行った。棒の両端は断熱境界条件、棒の側面から対流熱伝達に起因する熱損失が発生するものとして非定常熱伝導方程式を考え、解析解の導出を行った。

コイルの形状を考慮したセンサのシミュレーションのために、金属コイルが半田で基板に実装されている3D-CADモデルを作成し、有限要素法を用いた流体解析と伝熱解析の連成解析を実施した。得られた計算結果と実験結果との差異を基に、コイルの抵抗および混合気体の物性値に関する補正をおこない、シミュレーションと実験の整合を行った。

3. 実験結果および考察

1次元モデル解析解および有限要素法によるシミュレーション結果から、クロス点の冷却時間と水素濃度との関係を表したものを図1に示す。なお同図には各シミュレーション結果の1次近似式プロットおよびその近似式を示してある。1次元モデル解析解で計算した結果、水素濃度 0 vol.%のクロス点の冷却時間および感度は実験

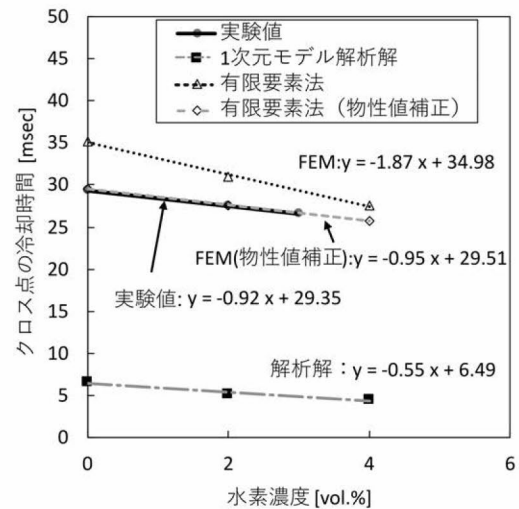


Fig. 1 Relationships between the hydrogen concentration and the cooling time at the cross points

値に比べてそれぞれ約77%および約40%小さい値となった。一方、物性値補正後の有限要素法によるシミュレーションでは、水素濃度 0 vol.%のクロス点の冷却時間および感度は実験値に比べてそれぞれ約1%および約3%大きい値となり、1次元モデル解析解に比べて実験との差異が小さくなった。

さらに、解析が専門の者でなくても、変更したいパラメータを入力してアプリ上でシミュレーションを実行することができるように、シミュレーションモデルのアプリケーション化を行った。

4. 結言

コイルを1次元の棒とみなして定式化した熱伝導方程式の解析解によるシミュレーションを行った。その結果、冷却曲線は得られたものの、クロス点における冷却時間および感度は実験値よりも小さい値を示した。

さらに、コイルの形状を考慮したシミュレーションのために、有限要素法による熱流体解析および熱定数補正法の検討を行った。その結果、解析解と比較してクロス点における冷却時間および感度は実験値と近づいた。

これらの知見を基に、有限要素法によるシミュレーションモデルをアプリケーション化することで、設計者が自分のPCで任意の設計パラメータを設定した解析を実行することが可能となった。

(詳細は、令和3年度 若い研究者を育てる会「研究論文集」pp.22-29を参照)

*1 現 機械電子研究所