

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	自動車走行環境における鉄鋼材料への水素侵入機構に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	大塚真司
Author(English)	Shinji Otsuka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11444号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:多田 英司,西方 篤,須佐 匡裕,河村 憲一,上田 光敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11444号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		大塚 真司	
		氏名	職名		氏名	職名	
論文審査 審査員	主査	多田 英司	准教授	審査員	上田 光敏	准教授	
	審査員	西方 篤	教授				
		須佐 匡裕	教授				
		河村 憲一	准教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「自動車走行環境における鉄鋼材料への水素侵入機構に関する研究」と題し、6章から構成されている。

第1章「緒言」では、車体軽量化と乗員安全性の両立のためには自動車用鋼板の高強度化が喫緊の課題であることを述べ、従来の腐食劣化対策に加え、水素脆化への対策が新たな課題であると述べている。その中で、自動車走行環境における鉄鋼材料の腐食反応にともなう水素侵入挙動の解明が不可欠であることを指摘し、そのためには、車載可能でその場で高精度に水素量を測定する技術が必要であることを述べるとともに、自動車走行時の腐食環境と腐食因子に関する従来研究を概括することで自動車走行環境における鋼板への水素侵入挙動について未解明点を整理し、本論文の目的と構成を述べている。

第2章「温度補償型水素侵入モニタリングシステムの開発」では、はじめに金属中に侵入した水素に関する既存の評価法を概観し、その中で電気化学的水素透過法の優位性を述べている。電気化学的水素透過法では、金属内を透過してきた水素原子を電解酸化し、そのとき生じる電流から水素侵入量を定量評価するものであるが、測定電流には水素の酸化電流とは関係がない残余電流が含まれ、その除去が水素侵入量の分析精度向上と水素侵入機構の解析に必須であるとの考えから、残余電流の除去が可能な温度補償型水素侵入モニタリングシステムを開発している。このシステムを実車走行試験に適用し、その残余電流の除去効果および水素侵入量の分析感度を調査した結果、鋼板に腐食がない状況では残余電流除去後の電流が数  $\text{nA}/\text{cm}^2$  以下であり、これは水素濃度に換算して  $10^{-6}\text{ppm}$  オーダーであることから、システムに要求される水素濃度である  $10^{-2}\text{ppm}$  オーダーに比べ  $1/10000$  以下と極めて小さい値であり、開発したシステムが水素侵入量に対して十分な分析感度を有していることを明らかにしている。また、車両走行時、路面水の被水によって鋼板に腐食が生じた場合は数十  $\text{nA}/\text{cm}^2$  の水素透過電流が観測され、腐食がない場合に比べ10倍以上の値に増加することを見いだしている。すなわち、開発したシステムによって、自動車走行環境において鋼板の腐食にともなう水素侵入量を高感度分析が可能であることを明らかにしている。

第3章「自動車走行環境下における鋼板への水素侵入挙動」では、融雪塩散布地域であるスウェーデンのヨーテボリとストックホルム間の約500 kmを走行するトレーラーの荷台下部に、第2章で開発した温度補償型水素侵入モニタリングシステムを取り付けて自動車走行試験を実施し、自動車走行環境において鋼板の腐食にともなう水素侵入量のその場測定に世界で初めて成功している。また、測定した温度、湿度、付着塩分量と水素侵入量との関係を詳細に考察し、鋼板への水素侵入は、自動車の走行時において融雪塩を含む路面水を鋼板が被水することにより開始し、その後停車中において水膜が乾燥して厚さが減少していく過程で促進されることを見いだしている。また、気温と鋼板に付着する塩分量の増加が水素侵入量を増加させる主な環境因子であることと述べている。

第4章「乾湿繰り返し腐食環境下における鋼板への水素侵入に及ぼす環境因子の影響」では、第3章において、自動車が走行している状況に比べ停車状態において水素侵入が促進されるとの知見に基づき、鋼板に付着した水膜の乾燥過程における水素侵入挙動を調査している。すなわち、10、30、50℃の温度一定条件の下で、相対湿度を30～90%まで変化させる乾湿繰り返し条件下において水素透過電流の変化を測定し、その結果から鋼板への水素侵入挙動について解析している。その結果、乾湿繰り返し環境における水素透過電流の顕著な変化は、乾燥直前や水膜の形成直後において生じることを見いだしている。これは、鋼板表面に形成した水膜が薄く、その水膜中の塩化物イオン濃度が高い状態において、鉄の腐食反応によって溶出した $Fe^{2+}$ から水膜中の酸素によって酸化形成した $Fe^{3+}$ が加水分解反応し、それによって鋼板表面のpHが低下することで水素発生反応が促進され、水素侵入量の増加がもたらされたためであると説明している。

第5章「自動車走行環境における鋼板への水素侵入機構」では、自動車走行状態における腐食環境を整理し、付着塩化物量、温度、湿度、路面水の付着などの腐食因子と水素侵入挙動との関係、および自動車走行環境における腐食環境の形成と鋼板の腐食にともなう水素侵入機構との関係を詳述している。さらに、自動車走行地域の温度と付着塩分量に対して測定された水素透過電流から、腐食反応により鋼板内に侵入する水素の表層濃度の最大値を求め、その値を元に、鉄鋼材料の水素脆化割れ発生の可能性が高い環境条件を視覚化できる等表層水素濃度図を作成している。

第6章「総括」では、本論文で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本論文は、自動車への搭載が可能で、水素量の測定感度が高い、温度補償型水素侵入モニタリングシステムを開発し、それを利用して自動車走行環境における水素侵入挙動の実態を把握し、鉄鋼材料への水素侵入に及ぼす腐食因子の影響と水素侵入機構を明らかにするもので、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。