

## 固体高分子電解質水電解法による 溶存水素濃度制御装置の開発

Development of Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus  
by Solid Polymer Electrolyte Water Electrolysis Method

中野 寛子 冬島 拓実 津口 明 中村 和  
武内 伴照 竹本 紀之 井手 広史

Hiroko NAKANO, Takumi FUYUSHIMA, Akira TSUGUCHI, Mutsumi NAKAMURA  
Tomoaki TAKEUCHI, Noriyuki TAKEMOTO and Hiroshi IDE

高速炉・新型炉研究開発部門  
大洗研究所  
環境技術開発センター  
材料試験炉部

Department of JMTR  
Waste Management and Decommissioning Technology Development Center  
Oarai Research and Development Institute  
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development

June 2022

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課  
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).  
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.  
For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

## 固体高分子電解質水電解法による溶存水素濃度制御装置の開発

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門  
大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部

中野 寛子、冬島 拓実、津口 明\*<sup>1</sup>、中村 和\*<sup>1</sup>、  
武内 伴照、竹本 紀之、井手 広史

(2022年3月16日受理)

軽水炉高温高压水を模擬した環境における構造材料の応力腐食割れ（SCC）等の現象を把握するため、水質を管理することが重要である。一般的に、材料試験を行うための高温高压水試験装置の循環水中溶存水素濃度は、純水素ガスや高水素濃度の標準ガスのバブリングにより制御している。しかしながら、この方法では試験装置の設置場所に大掛かりな防爆設備等が必要である。一般的に、水素災害防止のためには、爆発に至る前に漏えい量の制限、水素の排除、電源の遮断、燃焼の抑制等の対策を講じることが求められている。このため、水の電気分解を利用し、循環水中溶存水素濃度を制御できる固体高分子電解質膜を有する溶存水素濃度制御装置の開発に着手した。

本開発にあたっては、小型基本実験装置を組立て、固体高分子電解質膜の単体性能及び循環状態における溶存水素濃度変化に関する基本データを取得した。この基本データに基づき、実機の高温高压水ループ試験装置に設置する溶存水素濃度制御装置を設計した。

本報告書は、小型基本実験装置による性能試験結果と溶存水素濃度制御装置の基本設計についてまとめたものである。

## Development of Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus by Solid Polymer Electrolyte Water Electrolysis Method

Hiroko NAKANO, Takumi FUYUSHIMA, Akira TSUGUCHI<sup>\*1</sup>, Mutsumi NAKAMURA<sup>\*1</sup>,  
Tomoaki TAKEUCHI, Noriyuki TAKEMOTO and Hiroshi IDE

Department of JMTR  
Waste Management and Decommissioning Technology Development Center  
Oarai Research and Development Institute  
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development  
Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received March 16, 2022)

In order to investigate the phenomenon of stress corrosion cracking (SCC) for structural materials at the light water reactor (LWR), it is important to manage a water quality for simulating high-temperature and high-pressure water. Generally, dissolved hydrogen (DH) concentration in water loop has been controlled by the bubbling method of pure hydrogen gas or standard gas with high hydrogen concentration. However, it is necessary to equip the preventing hydrogen explosion in the area installed experimental apparatus. In general, in order to prevent accident by hydrogen, it is required to take measures such as limiting the amount of leakage, eliminating hydrogen, shutting off the power supply, and suppressing combustion before an explosion occurs. Thus, the dissolved hydrogen concentration control apparatus by electrolysis method has been developed which has two electrolysis cells to control DH concentration by electrolyzing water loop.

In this study, small basic experimental devices were set up. The preliminary data were acquired regarding the simple performance of two electrolysis cells and the change of DH concentration in circulation. Based on the preliminary data, the dissolved hydrogen concentration control apparatus was designed to be connected to the high-temperature and high-pressure water loop test equipment.

This report describes the test results with the small basic experimental devices for the design of the dissolved hydrogen concentration control apparatus.

Keywords: Water Chemistry, Electrolysis, Dissolved Hydrogen Concentration

---

\*1 KAKEN Co., Ltd.

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 溶存水素濃度制御装置の原理と概念設計 .....	1
2.1. 固体高分子電解質水電解法による溶存水素濃度制御装置の原理 .....	1
2.2. 溶存水素濃度制御装置の概念検討 .....	2
3. 溶存水素濃度制御装置設計のための性能試験 .....	7
3.1. 固体高分子電解質膜の性能試験 .....	7
3.2. 循環状態における溶存水素の濃度測定 .....	8
4. 結果及び考察 .....	10
4.1. 固体高分子電解質膜の性能評価 .....	10
4.2. 循環状態における溶存水素の濃度測定 .....	13
5. 溶存水素濃度制御装置の基本設計 .....	15
5.1. 制御装置の基本仕様 .....	15
5.2. 排気される水素ガス濃度の評価 .....	18
5.3. 炉外高温高圧水ループ装置と接続後の性能試験 .....	19
6. まとめ .....	22
謝 辞 .....	23
参考文献 .....	23
付録 溶存水素濃度制御装置の操作方法 .....	24

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Principle Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus and Design.....	1
2.1. Principle of Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus by Solid Polymer Electrolyte Water Electrolysis Method .....	1
2.2. Proposal Concept of Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus.....	2
3. Performance Test for Design of Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus .....	7
3.1. Performance Test for Solid Polymer Electrolyte Membrane.....	7
3.2. Concentration Measurement of Dissolved Hydrogen in Circulation .....	8
4. Results and Discussion.....	10
4.1. Performance Evaluation of Solid Polymer Electrolyte Membrane .....	10
4.2. Concentration Measurement of Dissolved Hydrogen in Circulation .....	13
5. Basic Design of Dissolved Hydrogen Concentration Apparatus.....	15
5.1. Basic Specification of Control Device .....	15
5.2. Evaluation of Exhausted Hydrogen Gas.....	18
5.3. Performance Test after Connecting High Pressure Water Loop Test Equipment.....	19
6. Summary .....	22
Acknowledgement.....	23
References .....	23
Appendix Method of Operation for Dissolved Hydrogen Concentration Control Apparatus .....	24

## 1. はじめに

加圧水型軽水炉（PWR）や沸騰水型軽水炉（BWR）では、事故・故障・トラブル等の防止のために冷却水の水質管理（電気伝導率、pH、溶存酸素、溶存水素等）が重要<sup>[1]</sup>である。PWR 及び BWR の冷却水の使用環境は異なることから水質管理値はそれぞれに設定されている。特に、BWR においては、応力腐食割れ（SCC）の抑制のために、冷却水中に水素注入を行い、冷却水中の溶存酸素ならびに過酸化水素と反応させることにより、腐食電位を低下させる方法によって水質の管理を行っている<sup>[2]</sup>。

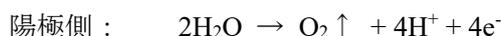
このような高温高压水環境で使用する機器の構造材料の材料特性は、水質により大きく影響を受けることから、高温高压水環境を模擬できる試験装置を用いて試験が行われている<sup>[3]</sup>。一般的に、このような試験装置を用いて試験を行う場合、溶存酸素濃度や溶存水素濃度は、水質調整タンク中にガスボンベから酸素ガスもしくは水素ガスを供給する方法により制御している。特に、溶存水素濃度の制御に対しては、純水素ガスや高水素濃度ガスを水質調整タンクに供給することから、水素ガス使用による大掛かりな防爆設備及び排気設備を付加する必要があった<sup>[4]</sup>。水素災害防止のためには、水素の漏えい、拡散・集積、着火・火災を経て爆発に至る各段階で漏えい量の制限、水素の排除、電源の遮断、燃焼の抑制等の対策を講じることが求められている。本装置は電気分解法を用いて水素を発生させ、溶存水素水を製造し、高温高压水環境を模擬できる試験装置に溶存水素水を送水することで溶存水素濃度を調整できるように開発した。

本報告書は、高温高压水環境下における材料の特性を評価するため、既設「高温高压水ループ装置」に使用する循環水中の溶存水素濃度を制御可能な、固体高分子電解質を用いた電気分解法による溶存水素濃度制御装置の開発のための性能試験結果についてまとめたものである。

## 2. 溶存水素濃度制御装置の原理と概念設計

### 2.1. 固体高分子電解質水電解法による溶存水素濃度制御装置の原理

水の電気分解により、水素と酸素は同時に発生することができるが、純度の高い水（超純水等）を用いた電気分解は、電気抵抗が大きくなり水素ガスが発生しにくいという問題があった。そこで、本装置では、外部から加えられた電場によって、イオンを移動させることのできる固体高分子電解質膜（フッ素樹脂系の陽イオン交換膜）<sup>[5]</sup>を採用した。フッ素樹脂系の固体高分子電解質膜は、プロトン伝導性の高さから選定した<sup>[6]</sup>。陽極側及び陰極側における電気分解反応を以下に示す。陽イオン交換膜により、陽極側で発生した水素イオンを陰極側に移動させることが可能である。



固体高分子電解質膜による水の電気分解の原理を図 2-1 に示す。固体高分子電解質膜の両面に膜と一体になるように白金からなる触媒電極を接合し、その一方を陽極、他方を陰極とする。陽

極側に水を供給しながら両電極間に直流電圧を印加すると、陽極から酸素が発生する。陽極で生成された水素イオンは固体高分子電解質膜中を通過して、陰極に向かい、陰極で電子を得て水素ガスになる<sup>[7]</sup>。また、固体高分子電解質膜が密な隔膜となるため発生した水素と酸素は別々に取り出すことができるため、陰極側の水質変化について溶存水素のみを制御することができる。

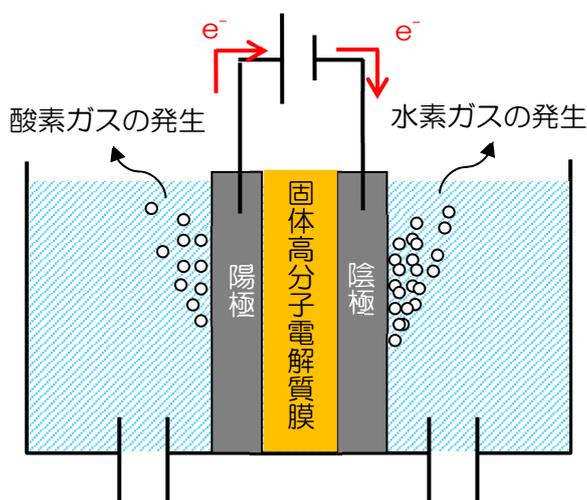


図 2-1 固体高分子電解質膜による水の電気分解の原理

## 2.2. 溶存水素濃度制御装置の概念検討

溶存水素濃度制御装置は炉内の高温高圧環境を模擬できる試験装置等に接続し、循環水中に水素ガスが溶解した水を送り込むためのものである。装置開発にあたり、課題として固体高分子電解質水電解法により発生させた水素ガスと酸素ガスが電解質膜等の破損により循環水中で混合して溶解すること、電解セル内に発生させたガスが溜まることで固体高分子電解質膜に水が供給されず所定の電流値を確保できないことへの対策が必要である。

一方、溶存水素濃度制御装置の概略図を図 2-2 に示す。固体高分子電解質膜の破損等により水漏れが生じた際の緊急停止や所定の溶存水素濃度に達した際の自動停止等の自動制御システムを構築し、溶存水素濃度制御装置を接続する既設「炉外高温高圧水ループ装置」<sup>[8]</sup>の運用に影響を与えないことが必要となる。

この課題を解決するため、以下の項目について検討した上で溶存水素濃度制御装置の概念設計を行った。なお、溶存水素濃度制御装置の各構成機器の検討結果については、次節以降に示す。

- (1) 発生したガスの循環水中での混合を防ぐ構造を有する電解セル及び気水分離器の設計
- (2) 発生したガスが溜まることなく流れる構造を有する電解セル及び送液ポンプの設計
- (3) 水漏れや所定の濃度に達した際の自動停止可能な自動制御システムの構築

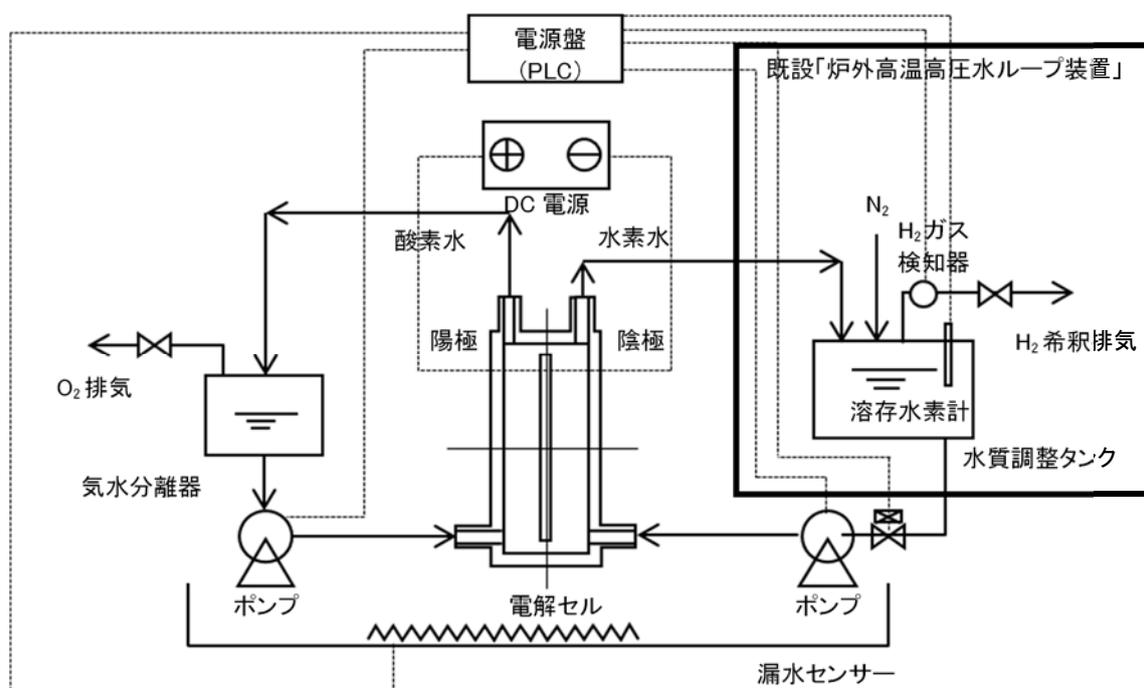


図 2-2 溶存水素濃度制御装置の概略図

(1) 電解セルの検討

溶存水素濃度制御装置において、既設「炉外高温高圧水ループ装置」と接続されている陰極側に、陽極側で発生する酸素ガスが混合することを防ぐ必要がある。そのため、図 2-3 の電解セルの構成図に示すように固体高分子電解質膜である Nafion™ 膜<sup>[9]</sup>を採用した。これは、水中のイオンを自由に透過させる一方で、水そのものの通過を阻害する隔膜の機能を有するため、陰極側の循環水中の溶存水素濃度を上昇させ、所定の溶存水素濃度に制御可能である。

図 2-4 に電解セルの組立図を示す。固体高分子電解質水電解法では陰極側で水素ガス、陽極側で酸素ガスが発生し、これが電解セル内に溜まると固体高分子電解質膜に水が供給されなくなるため所定の電流が流れなくなる。電流値を安定させるために、発生した気体が陰極側及び陽極側の電極近傍に溜まらない構造として、電解セル上部に角度をつけた。

No.	名称	材質	No.	名称	材質
1	陽極側セパレーター	アクリル	6	ガスケット	テフロンシート
2	ガスケット	テフロンシート	7	陰極側電極	Ti パンチング板
3	陽極側電極	Pt/Ti パンチング板	8	ガスケット	テフロンシート
4	ガスケット	テフロンシート	9	陰極側セパレーター	アクリル
5	固体高分子電解質膜	Nafion™			

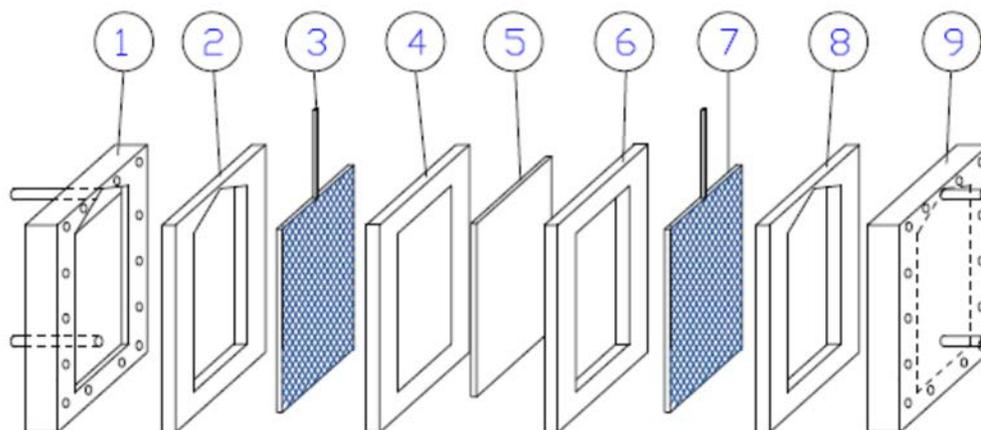


図 2-3 電解セルの構成図

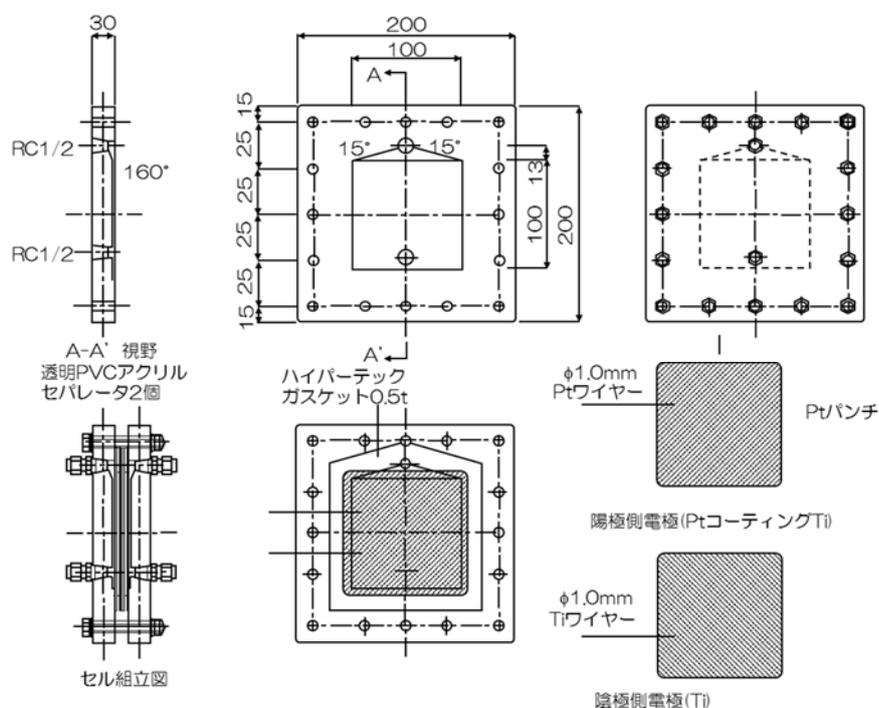


図 2-4 電解セルの組立図

(2) 気水分離器の検討

気水分離器は、陽極側の循環系に設置するものであり、循環水中に溶解しないガスを効率よく分離するための容器である。陽極側で発生する酸素水を酸素ガスと水に分離させ、酸素ガスは排気ラインにて排気する。また、陽極側循環水の貯蔵をかねるとともに、循環水量が減少した場合は、充填可能な構造である。

(3) 送液ポンプの検討

送液ポンプは、陰極側及び陽極側の循環系に設置し、両方の循環水を所定の流量で循環させるためのものである。固体高分子電解質水電解法によって発生したガスが電解セル内に溜まると固体高分子電解質膜に水が供給されなくなるため所定の電流が流れなくなる。これにより、過剰な熱が発生した結果、固体高分子電解質膜の破損につながる。そのため、電解セル中で発生したガスが溜まらないように適切な流量で循環させることが必要である。

(4) 自動制御システムの検討

自動制御システムは、溶存水素濃度制御装置を安定的に運転するためのシステムであり、既設「炉外高温高圧水ループ装置」を安定運転する観点から、既設装置から自動制御に必要な信号を受信することにより、①漏水対策、②溶存水素濃度調整システム、③水質変化対策、そして④水素濃度上昇対策といった基本的な安全機能を有する。図 2-5 に溶存水素濃度制御装置の安全対策を示す。

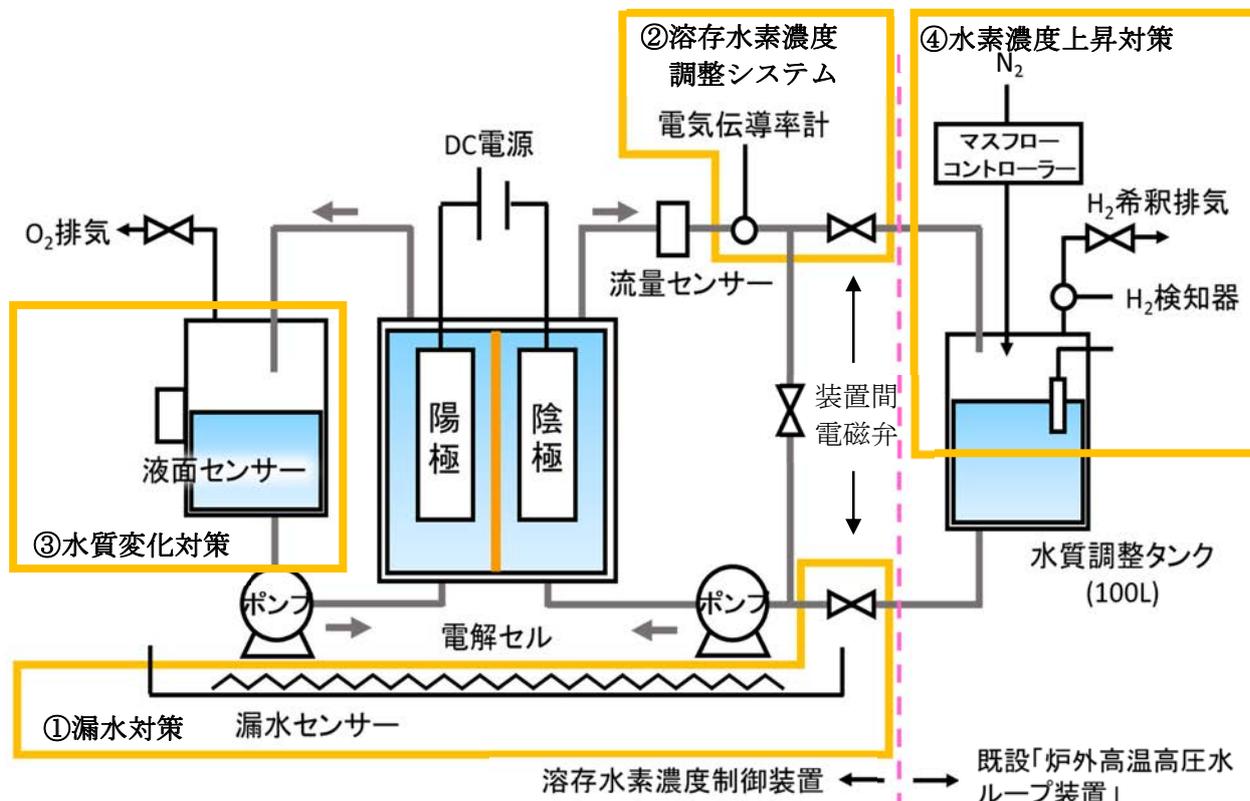


図 2-5 溶存水素濃度制御装置の安全対策

① 漏水対策

溶存水素濃度制御装置において漏水が生じた場合、もしくは、既設「炉外高温高圧水ループ装置」において漏水が生じた場合、溶存水素濃度制御装置は停止する必要がある。仮に停止しなければ既設装置に送水し続けることになり、溶存水素濃度制御装置の循環水量が減少し、所定の電流が流れなくなることで固体高分子電解質膜が破損するおそれがある。

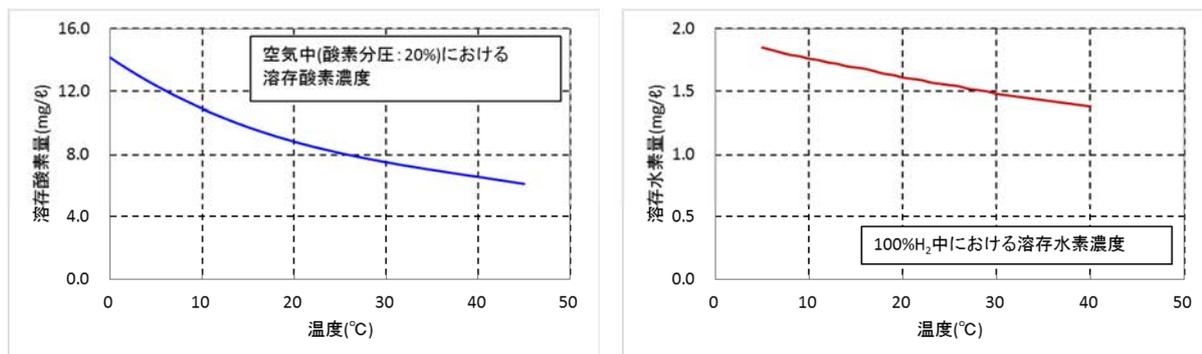
漏水対策として、図 2-5 溶存水素濃度制御装置の安全対策に示す漏水センサーが漏水を検知する。漏水センサーが溶存水素濃度制御装置の漏水を検知した場合、図 2-5 に示す装置間電磁弁を閉じ、電解セルへの電流供給及び2つのポンプを OFF とし、既設装置も停止する。また、既設装置の漏水センサーが漏水を検知した場合にも、装置間電磁弁を閉じ、電解セルへの電流供給及び2つのポンプを OFF とし、溶存水素濃度制御装置も停止する。

② 溶存水素濃度調整システム

循環水中の溶存水素濃度の設定値を維持するため、溶存水素濃度制御システムとして、既設装置に設置されている溶存水素濃度計が上限設定値を超えた場合に、装置間電磁弁を閉じ、電解セルへの電流供給及び2つのポンプを OFF とすることとした。また、下限設定値を下回った場合、装置間電磁弁を開け、電源及び2つのポンプを ON とすることとした。

また、固体高分子電解質膜が破損する等により、陽極側と陰極側の循環水と混ざることによって水質が変化することが想定される。したがって、循環水の電気伝導率が設定値を上回った場合に、装置間電磁弁を閉じ、電解セルへの電流供給及び2つのポンプを OFF とすることにより、循環水の水質変化を防ぐことができる。

第 2.1 節にて述べたように、固体高分子電解質水電解法では、陰極側に水素ガス、陽極側に酸素ガスが発生するが、各ガスの水への溶解度は温度に依存する。図 2-6 に飽和溶解ガス量を示す。水素ガス、酸素ガスともに、温度の上昇とともに飽和溶解度が減少する。一方で、固体高分子電解質水電解法で得られた水素ガスの純度は高いが、排気する際は爆発下限値の 4%未満にする必要がある。既設装置の水質調整タンクで、溶解しなかった水素ガスはパージ用窒素ガスによって希釈され、排気ラインを通して排気される。水質調整タンクに設置された水素ガス検知器が上限設定値を超えた場合に、パージ用窒素ガスを設定流量より増加することで、排気される水素ガス濃度を希釈することができる。また、上限設定値を下回った場合には、パージ用窒素ガスを設定流量に戻す。



(a) 空气中 (酸素分圧 : 20%) における溶存酸素濃度 (b) 100%H<sub>2</sub> ガス中における溶存水素濃度

図 2-6 飽和溶解ガス量(a)空气中 (酸素分圧 : 20%) における溶存酸素濃度, (b)100%H<sub>2</sub> ガス中における溶存水素濃度

### 3. 溶存水素濃度制御装置設計のための性能試験

溶存水素濃度制御装置の設計・製作にあたって、小型の基本実験装置を2つ組立て、固体高分子電解質膜の性能及び循環状態における溶存水素濃度に関する基本データを取得した。

#### 3.1. 固体高分子電解質膜の性能試験

固体高分子電解質水電解法によって陰極側に水素を発生させ、電圧・電流の違いによって、溶存水素濃度がどのように変化するかを調べるため、小型基本実験装置①を製作した。小型基本実験装置①の概略図及び外観写真をそれぞれ図 3-1 及び図 3-2 に示す。

本装置は、電解セルを固体高分子電解質膜によって仕切り、陽極と陰極をガスケットではさむことで電極間距離を調整できるようにした。電極は、Ti板にPtをメッキしたものを用い、電極有効面積を $9\text{cm}^2$ とし、ポテンショスタットにより、電極間の電圧を調整した。電解セル容器中の水を均一にするように、陰極側の下部にスターラーを設置し、攪拌子により攪拌させた。陰極側には、ポータブルの溶存水素濃度計を設置し、溶存水素濃度を測定できるようにした。

固体高分子電解質膜水電解セルの性能試験では、電極面積を $9\text{cm}^2$ 、電極間距離を約 $3\text{mm}$ と設定して行った。まず、陰極側容器及び陽極側容器に蒸留水を $250\text{mL}$ ずつ入れた。次に、 $40$ 分間 $13\sim 50\text{V}$ 範囲で電圧をかけ、陰極側蒸留水中の溶存水素濃度を測定した。なお、溶存水素濃度は温度による影響を受けることから、電気分解中の陰極側及び陽極側蒸留水の温度測定を行った。

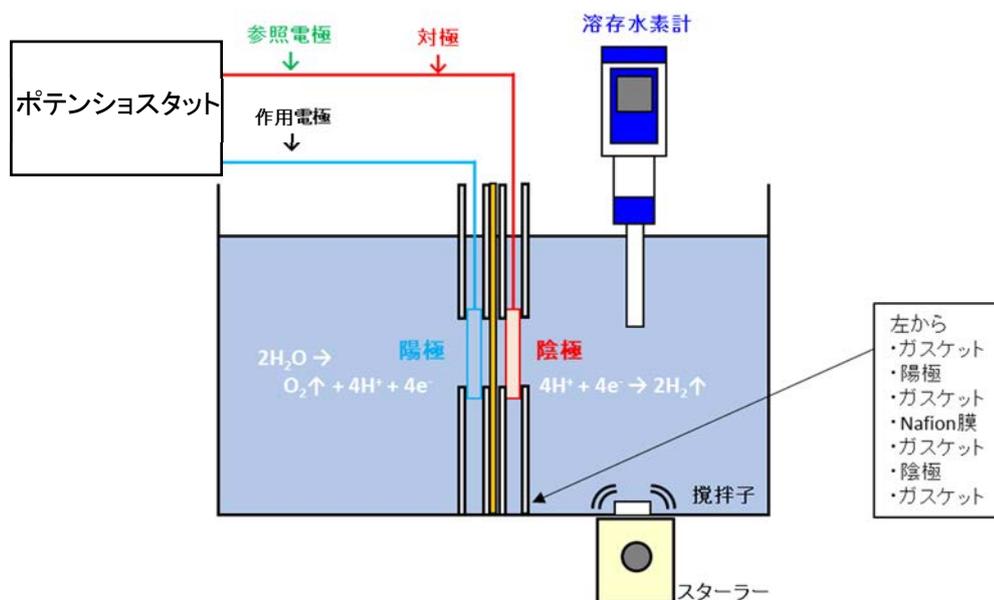


図 3-1 小型基本実験装置①の概略図



図 3-2 小型基本実験装置①の外観写真

### 3.2. 循環状態における溶存水素の濃度測定

陽極側・陰極側の蒸留水をポンプで循環させた状態における溶存水素濃度の影響を調べるため、図 3-3 に示すように小型基本実験装置②を製作した。また、小型基本実験装置②の外観写真を図 3-4 に示す。第 3.1 節の試験により、水素ガスの発生を確認したとともに、発生した水素ガスが陰極に残存することで絶縁の役割となり、電流を安定して供給できないことが分かった。しかし、実際の装置では、ポンプで水を循環させていることから、発生したガスが電極に残存することはないと考えられる。ここで、適切な流量に設定することによって安定した電流を供給可能か確認するための試験を行った。

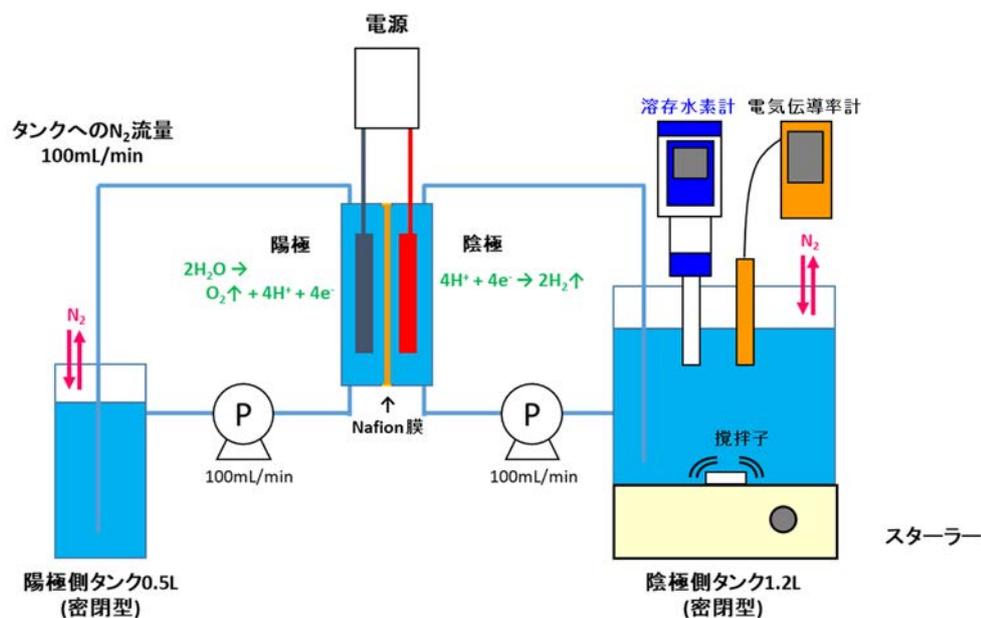
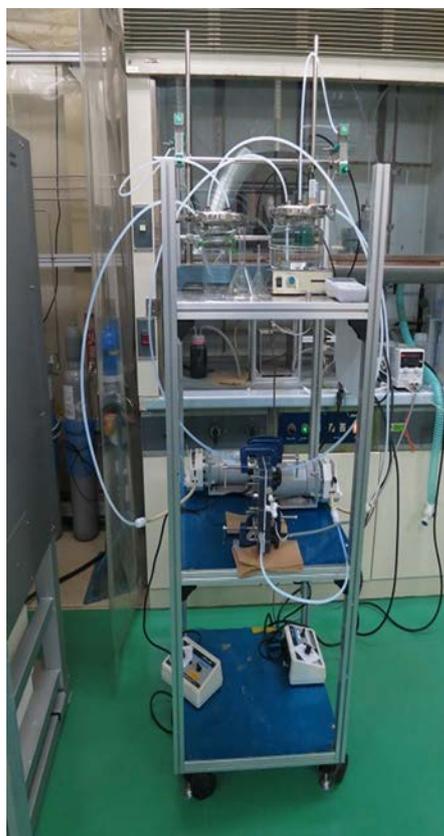


図 3-3 小型基本実験装置②の概略図



基本実験装置全体



左：陰極タンク、右：陽極タンク



電解セル

図 3-4 小型基本実験装置②の外観写真

固体高分子電解質膜電解セルは、小型基本実験装置①と同様に、固体高分子電解質膜（Nafion™膜）によって仕切り、陽極と陰極をガスケットではさむことで電極間距離を調整した。Pt をメッキした Ti 板の電極面積は  $64\text{cm}^2$  とした。電解セルの陰極側は、陰極側タンク（1.2L：密閉型）とテフロンチューブで接続し、循環ポンプを取り付けることにより、蒸留水を循環できるようにした。同様に、電解セルの陽極側は、陽極側タンク（0.5L：密閉型）と接続し、蒸留水を循環できるようにした。陰極側タンクには、ポータブルの溶存水素濃度計及び電気伝導率計を設置し、蒸留水中の溶存水素濃度及び電気伝導率を測定できるようにした。なお、陰極側タンクでは、スターラーにより攪拌子を回転させ、蒸留水を攪拌させた。また、陰極側タンク及び陽極側タンクには、ページ用窒素ガスラインを設置した。

続いて、実機を模擬した循環状態における溶存水素濃度測定において、電極間距離を約 3mm と設定して電解を行った。まず、陰極側タンク及び陽極側タンクに蒸留水をそれぞれ 100L 及び 10L 入れ、流量を約  $150\text{mL}/\text{min}$  で循環させた。次に、90 分間 30~40V 範囲で電圧をかけ、陰極側タンクの蒸留水中の溶存水素濃度を測定した。なお、溶存水素濃度は温度による影響を受けることから、電気分解中の陰極側及び陽極側蒸留水の温度測定をしたが、室温と同程度であり、 $23^\circ\text{C}$ であった。

## 4. 結果及び考察

### 4.1. 固体高分子電解質膜の性能評価

小型基本実験装置①を用いた純水中の溶存水素濃度評価として、ポテンショスタットにより、電極間に一定の電圧を付加することにより、純水中の溶存水素濃度の変化を調べた。

固体高分子電解質膜（Nafion<sup>TM</sup> 膜）を用いた水の電気分解によって、水素が発生することを確認した。この結果、電圧を 93.5V（電流値：37.3mA）印加したところ、約 10 分で溶存水素濃度は 0.3mg/L まで上昇した。電圧の印加を止め、攪拌を停止すると、溶存水素濃度計の表示値は徐々に下がり始めるが、攪拌を再開すると、溶存水素濃度計の表示値は再び上がり始めた。これは、電解セルの陰極側で発生した水素が、電解セル中で気泡として残存しており、攪拌を再開したことにより残存していた水素が蒸留水中に溶存したためと考えられる。陰極に発生した気泡の様子を図 4-1 に示す。気泡は電解膜-電極間の全面から発生するが、時間の経過とともにガスケット上部の端部に移動した。移動した気泡は、初め微小なサイズであったが、気泡の合一を繰り返し徐々に大きくなって上部の角に集積した。これにより、気泡はガスケットの上部に多く集まることになった。



図 4-1 陰極に発生した気泡の様子

次に、陽イオン交換膜（Nafion™膜）を用いた純水の電気分解によって水素を発生させ、電圧・電流の違いによって溶存水素濃度がどのように変化するかを調べた。まず、印加時間と溶存水素濃度の関係を図 4-2 に示す。この結果、印加電圧の増加とともに、純水中の溶存水素濃度は増加する傾向にあり、電圧 8.0V 以上では、印加時間 40 分後には純水中の溶存水素濃度が 0.5mg/L まで上昇可能であった。印加時間 40 分後における電流密度と溶存水素濃度の関係を図 4-3 に示す。電流密度は各印加電圧の電流値に対し、陽イオン交換膜の表面積で規格化したものである。この結果、電流密度の増加とともに、溶存水素濃度も増加する傾向にあることが分かった。さらに、水素生成中の純水の温度変化の結果を図 4-4 に示す。この結果、水素生成において、水温は変化しないことが分かった。

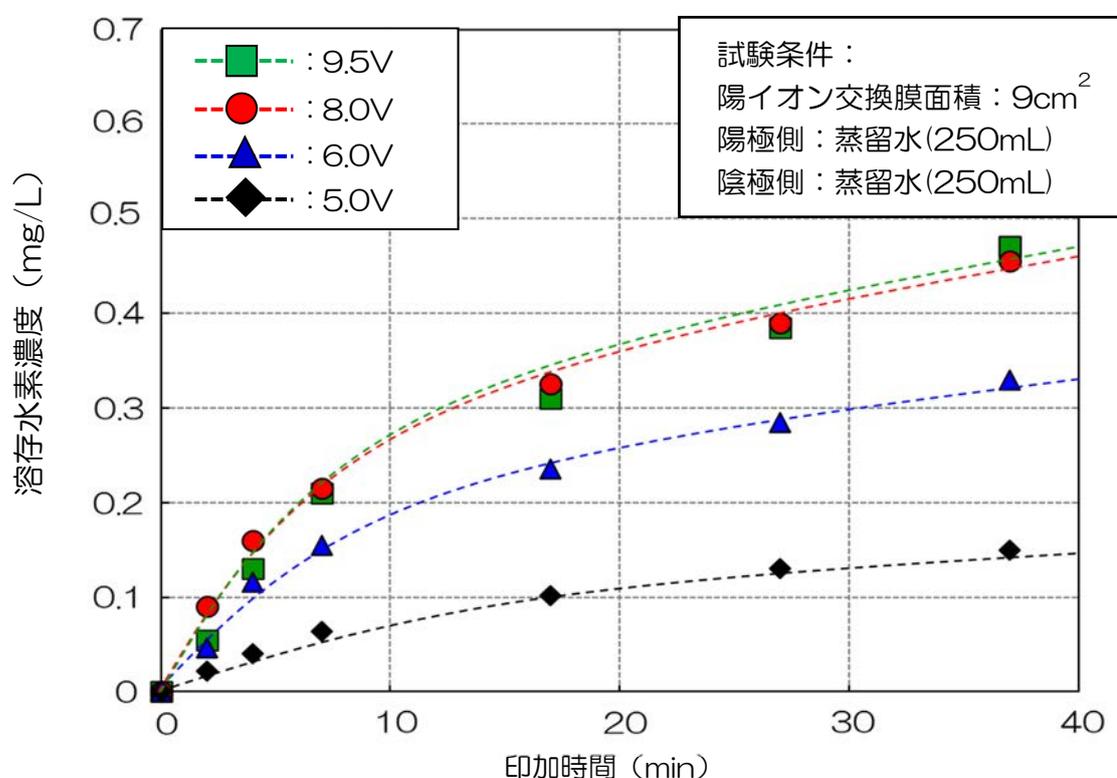


図 4-2 印加時間における水素濃度の関係

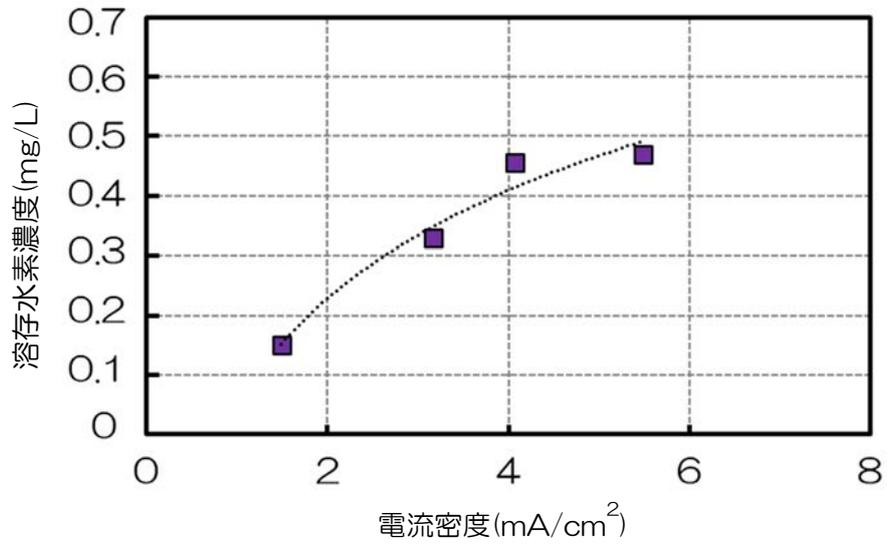


図 4-3 電流密度と水素濃度の関係（印加時間：40 分後）

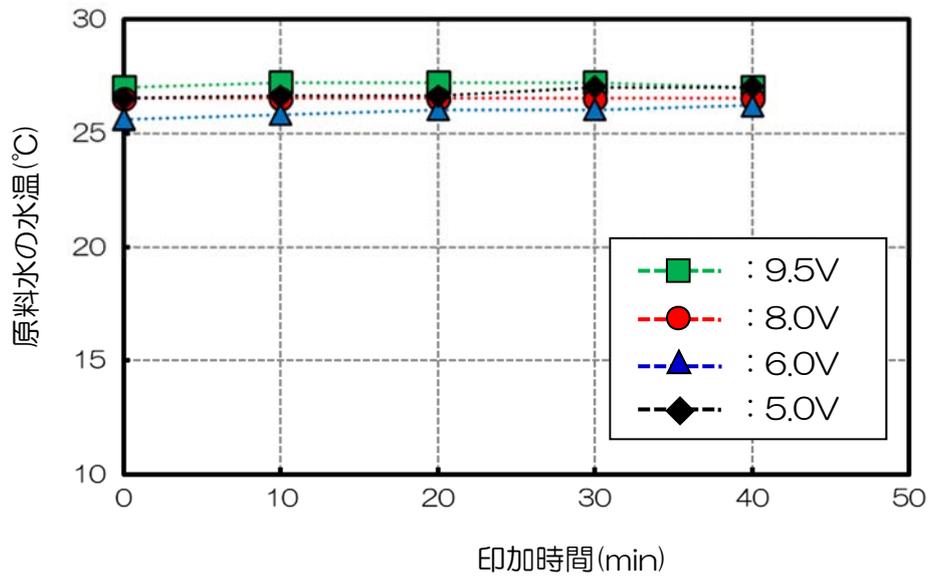


図 4-4 水素生成中の純水の温度変化

## 4.2. 循環状態における溶存水素の濃度測定

第 4.1 節の基本実験装置の電解膜よりも有効電解面積を拡大し、超純水（陰極側）－蒸留水（陽極側）の循環状態を想定した試験における循環水中の溶存水素濃度制御装置の性能を評価した。図 3-3 に示す通り、どちらのタンクも密閉形とし、陰極側容積を 1.2L、陽極側容積を 0.5L とし、循環流量を 50、100、150、200mL/min と変化させて、溶存水素濃度の経時変化を調べた。なお、電流密度は  $1.56\text{mA}/\text{cm}^2$  と一定とした。この結果を図 4-5 に示す。この結果、図 4-5(1)循環流量 50mL/min の結果は、溶存水素濃度の上昇は 4 分ほど過ぎてからであり、溶存水素濃度も  $0.4\text{mg}/\text{L}$  であった。流量が小さいと水圧が低く、電極表面についた気泡が排出されにくくなるため、有効電極面積が小さくなり、水素発生量が減少したと考えられる。図 4-5(2)循環流量 100mL/min の結果は、溶存水素濃度は試験開始後 2 分ほどで上昇し始め、7 分ごろまでは急激に上昇していたが、8 分後以降はほぼ一定の上昇となった。最終的には 100 分で  $0.575\text{mg}/\text{L}$  まで上昇し、時間の経過とともに溶存水素濃度も上昇していた。続いて、図 4-5(3)循環流量 150mL/min の結果は、溶存水素濃度の上昇立ち上がりは循環流量 100mL/min の結果よりも早かったが、溶存水素濃度の値はほぼ差がなかった。ただし、循環流量 150mL/min と 100mL/min の結果にほぼ差が生じなかったのは、試験後 50 分間までであり、試験後 50 分以降は循環流量 150mL/min の溶存水素濃度の上昇がにぶり、試験後 70 分以降はほぼ横ばいとなった。最後に、図 4-5(4)循環流量 200mL/min の結果、溶存水素濃度の上昇立ち上がりは早く、試験後およそ 15 分で  $0.5\text{mg}/\text{L}$  に達した。しかし、電解セル内圧が高まったことにより、電解セルから水漏れが発生し、陽極・陰極ともにタンク内の水が減少してしまったため、この試験による溶存水素濃度の値は参考値とする。

また、循環流量 50mL/min と 150mL/min を比較したところ、初期の溶存水素濃度の上昇が遅いものの、最終的には溶存水素濃度の上昇はほぼ同じ傾向にあることが分かった。これは、電流密度が同じであることから、電解による水素生成量はほぼ同じであり、流量が低いときには陰極側タンクの置換速度が遅いことから、初期の溶存水素濃度の立ち上がりに違いが生じたものと考えられる。本結果に基づき、陰極側超純水中の溶存水素濃度を  $0.5\text{mg}/\text{L}$  まで上昇させるためには、約 80 分で達成することができると予想される。

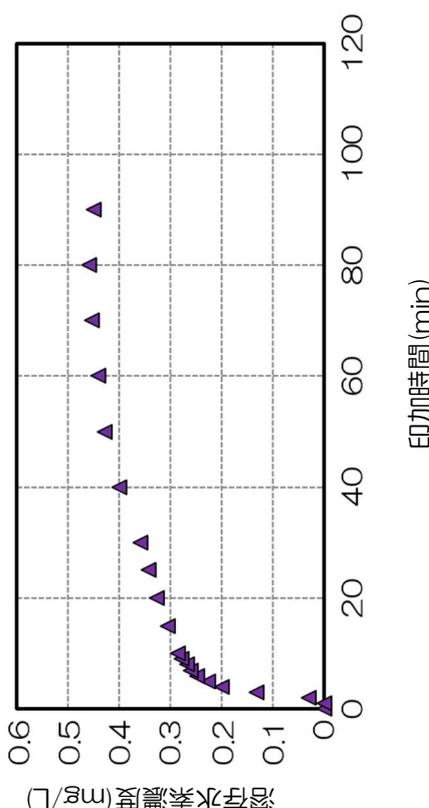
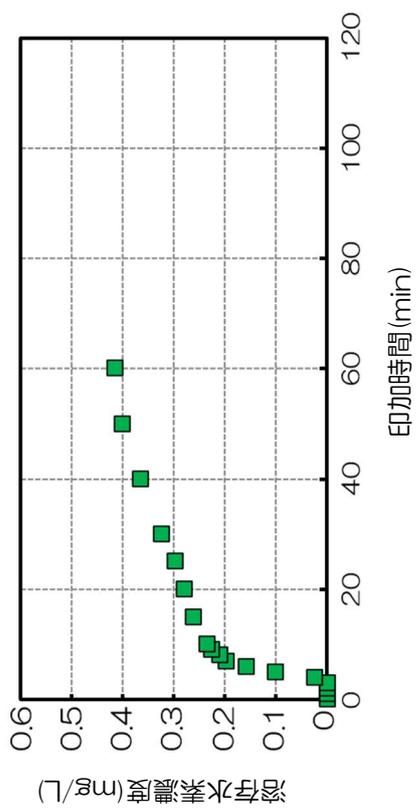
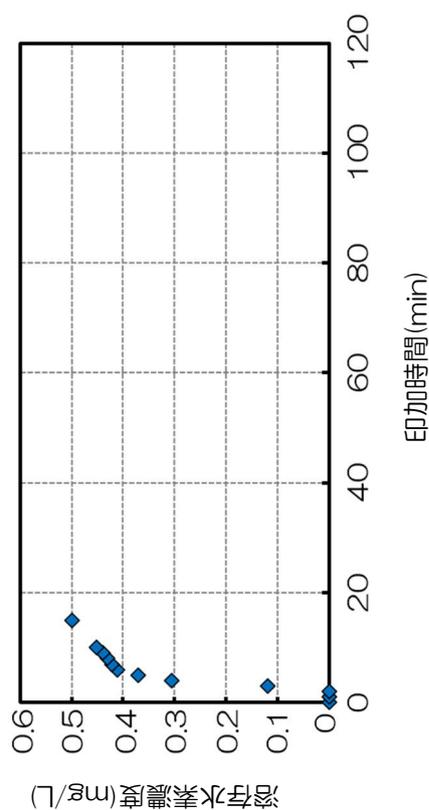
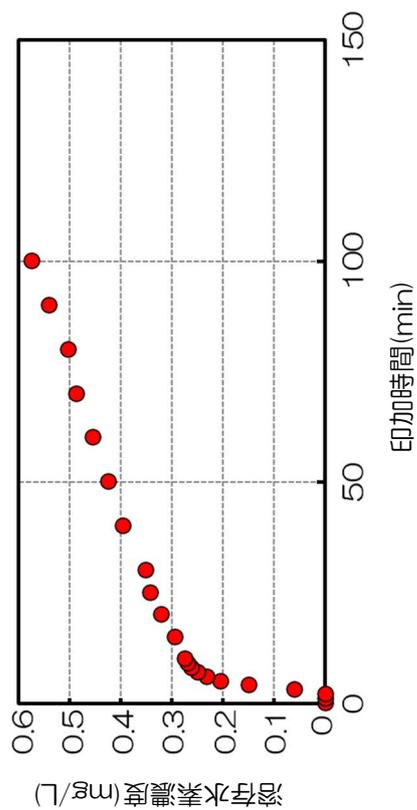


図 4-5 循環流量による溶存水素濃度の経時変化  
 (1) 循環流量 50mL/min  
 (2) 循環流量 100mL/min  
 (3) 循環流量 150mL/min  
 (4) 循環流量 200mL/min

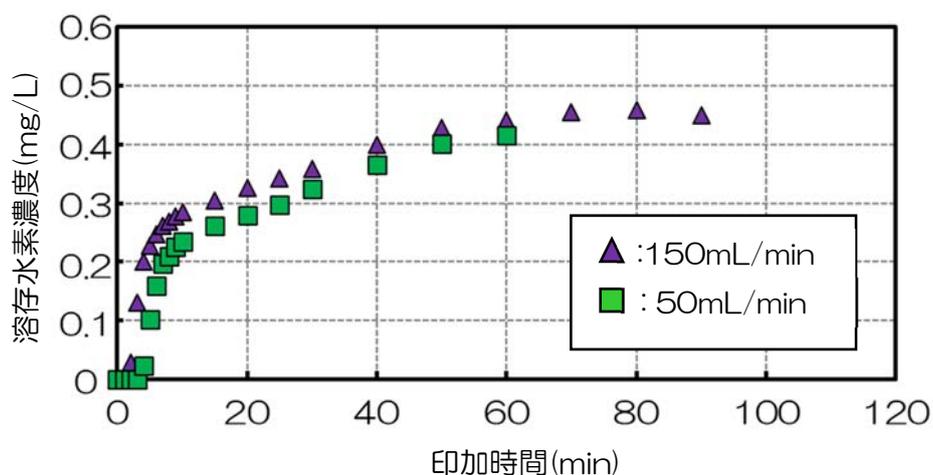


図 4-6 循環流量による溶存水素濃度の経時変化  
(循環流量 50 及び 150mL/min)

## 5. 溶存水素濃度制御装置の基本設計

これまでに行った2つの試験結果から、「炉外高温高压水ループ装置」に接続する実機溶存水素濃度制御装置の基本設計を行った。第3.1節及び第3.2節の試験より、溶存水素濃度制御装置の電解膜の大きさと循環水の流量に係る検討を行い、実機に使用する電解セルの大きさを決定した。なお、隔膜の役割を果たす電解質膜が破損しない最適な流量を設定することとする。

### 5.1. 制御装置の基本仕様

第3.2節の試験結果に電流効率70%、水素の溶存率100%の理論値で評価した結果を図5-1に直線で示す。この結果と循環試験によって得られた結果を比較すると、循環状態における溶存水素濃度変化は理論直線に沿って立ち上がり、試験後およそ10分から溶存水素濃度が横ばいになってくる。理論直線よりも左側にあるプロットは、電解セルで精製した溶存水素濃度の高い循環水がタンクに戻った際の攪拌に間に合わず、溶存水素濃度が均一になる前の測定値であると考えられる。したがって、電解初期は溶存水素濃度が低く、生成した水素の蒸留水への溶存は急激に進むものの、溶存水素濃度が高くなるにつれ、水素の溶存効率は下がり、時間が経つとともに水素の溶存効率はほぼ一定になると考えられる。そこで、試験結果より、蒸留水への水素の溶存効率を求めたところ、図5-2に示すようになった。この結果、電解セルにて生成した水素の循環水への溶存効率は約20%に収束していったことが分かった。なお、水素の溶存効率が100%を超過している部分は攪拌の影響と考えられる。

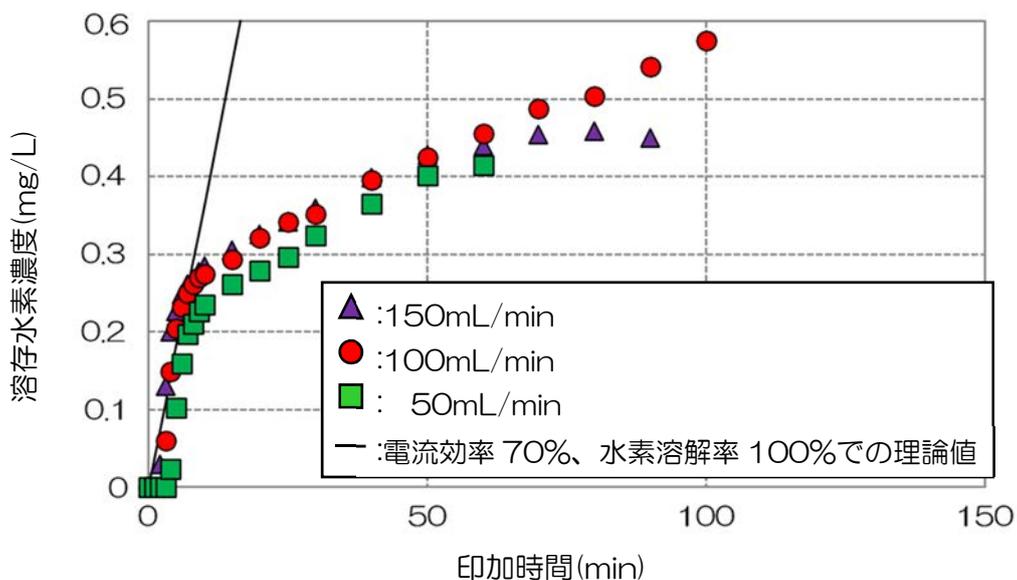


図 5-1 蒸留水への水素溶存効率

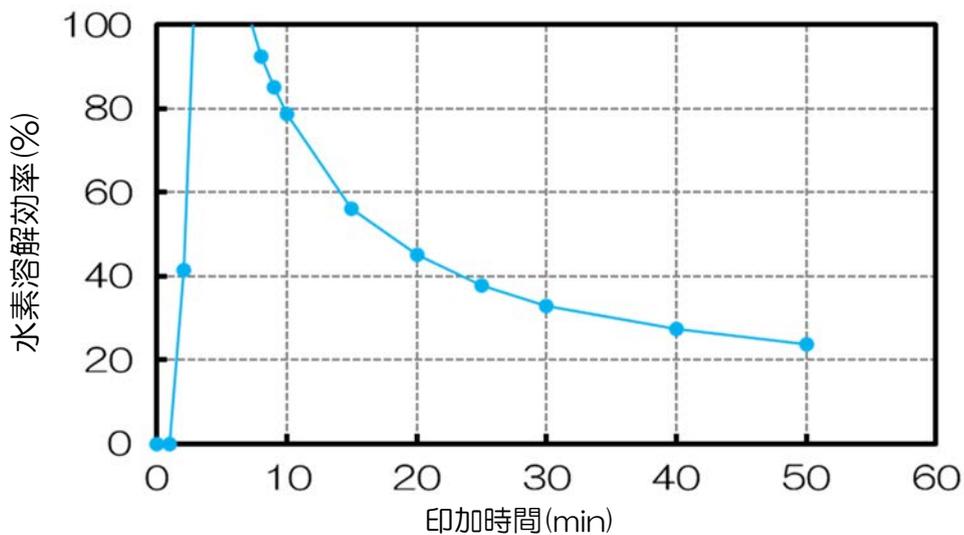


図 5-2 電流効率 70%、水素の溶存率 100%の理論値による評価

以上の試験結果より、既設「高温高圧水ループ装置」に設置する実際の溶存水素濃度制御装置の仕様の検討を行った。小型溶存水素濃度制御装置の基本仕様を表 5-1 に示す。なお、基本仕様の決定にあたっては、第 3.2 節で使用した基本実験装置②の水質調整タンク容積は実際の本試験系の約 1/40 であることから、下記に示す式を用いて評価を行った。

まず、水の電気分解による水素の発生量は式(1)で表すことができる。ここで、電解効率( $\alpha$ )は、性能試験結果より 70%とした。

$$W = \alpha \cdot I \cdot t \cdot (W_H/Q) \cdot 1000 \quad \dots \dots \dots (1)$$

- $W$  : 水素生成量 (mg)
- $\alpha$  : 電解効率
- $I$  : 電解電流 (A)
- $W_H$  : 1mol の水素 (2g) を電解するために必要な電荷 (2g/F (ファラデー))
- $Q$  : 必要な電荷量 ( $2 \times 96500A \cdot sec^{2 \times 96500A \cdot sec}$ )

また、既設「高温高圧水ループ装置」の水質調整タンク中の循環水の溶存水素濃度は式(2)で表すことができる。ここで、平均水素溶存効率( $\beta$ )は、性能試験結果より 20%とした。

$$C_H = \beta \cdot W/V \quad \dots \dots \dots (2)$$

- $C_H$  : 水質調整タンク中の循環水の溶存水素濃度 (mg/L)
- $\beta$  : 平均水素溶存効率
- $V$  : 水質調整タンク中の循環水の体積 (L)

また、電極面積は式(3)で表すことができる。

$$S = I/J \quad \dots \dots \dots (3)$$

- $S$  : 電極面積 (cm<sup>2</sup>)
- $J$  : 電流密度 (A/cm<sup>2</sup>)

式(1)~(3)を用いて、電解電流、電流密度、電流効率、平均水素溶解効率を考慮し、実機の装置を定常運転する電流密度を 4~5mA/cm<sup>2</sup>、目標溶存水素濃度を 0.5mg/L として評価した。その結果、水質調整タンク内の溶存水素濃度が 0.5mg/L に到達する時間は約 2.5h であることが分かった。

これにより、使用を満足する溶存水素濃度制御装置の基本仕様を決定することができた。電流密度により水素生成量は決まり、循環系においては流量による影響は初期の溶存水素濃度の立ち上がりにも影響することから、電解質膜を破損しない最適な流量を設定して使用する必要がある。

表 5-1 溶存水素濃度制御装置の基本仕様

<b>陽極側の条件</b>	
1) 電解タンク液量	: 10L
2) 電解液流量	: 5~10L/min
<b>陰極側の条件</b>	
1) 循環水液量	: 100L
2) 電解液流量	: 5~10L/min
<b>イオン交換膜部の条件</b>	
1) イオン交換膜寸法	: 15cm×15cm
2) イオン交換膜の面積	: 225cm <sup>2</sup>
3) 電流密度	: 4~5 mA/cm <sup>2</sup>

## 5.2. 排気される水素ガス濃度の評価

溶存水素濃度制御装置を既設「炉外高温高圧水ループ装置」に設置し、既設装置から必要な信号を受信し、溶存水素濃度制御装置の安全機能を備えるものとした。例えば、漏水に備えて漏水センサーを設置し、自動で DC 電源及び関連機器を非常停止するなどの安全機能を併せ持つものとした。純水素ガスボンベ及び高水素濃度ガスボンベから水質調整タンク内に水素ガスを供給することによる純水中の溶存水素濃度を制御する方法と比較して、溶存水素濃度制御装置の水素に対する安全装置は、以下のようにすることにより、簡素化可能である。

まず、純水中の気相部分の溶存水素濃度が 3.5%を超えた場合、電解セルの電極間に印加する電圧を停止し、陰極側送液ラインを電磁弁により閉止するとともに、循環水ポンプを停止する。続いて、イオン交換膜等の破損により、溶存水素濃度制御装置の電気伝導率計が設定値を越えた場合、本装置と既設装置間の電磁弁が閉止するとともに、DC 電源が停止、循環水ポンプを停止する。

さらに、電解を行った際、水に溶存しない水素が、水質調整タンクに溜まることとなる。水質調整タンクの空間中水素濃度が、爆発下限界である 4.1%を超えないように、窒素ガスで希釈するため、シミュレーションを行い、必要な窒素ガスの流量を評価した。

溶存水素濃度制御装置の安全機能について、シミュレーションした。電解時間 2.0h で、130.6mg の水素を生成し、平均水素溶解効率 20%として評価式(2)を用いて、水質調整タンク内の純水について溶存水素濃度を計算した結果、水質調整タンク中の純水 50L における溶存水素濃度は、0.522mg/L と算出された。

さらに電解を行った際、純水中に溶存しない水素が水質調整タンクの空間に溜まることとなる。そのため、水質調整タンクの空間中水素濃度が爆発下限界を超えないようにするため、窒素ガスで希釈する必要がある。ここでは、安全を取って、陰極で発生した水素が水へ全く溶存しない場合を想定し、希釈するための窒素ガス流量を算出した結果を図 5-3 に示す。ここで、赤色の点線が水素の爆発下限界である 4.1%、橙色の点線が目標水素濃度 3%を示し、ピンク色の直線は溶存水素濃度制御装置により発生した水素がすべて水に溶存しなかった場合における水質調整タンク

の空間中水素濃度、水色の曲線は水質調整タンクの空間中水素濃度が窒素ガスにより希釈されたときのシミュレーション結果を表す。この結果、430mL/min で窒素ガスを供給することにより、水質調整タンクの空間中水素濃度を 3%以下にできることが分かった。この結果より、希釈用窒素の流量調整を行うマスフローコントローラーは、水質調整タンクの空間体積の変動などを考慮し、余裕をもって最大 5L/min のものとした。

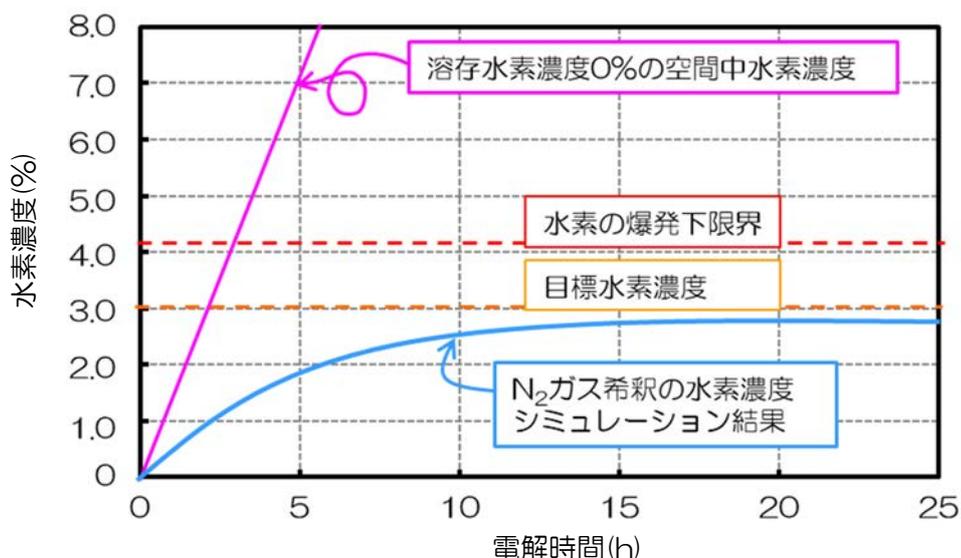


図 5-3 電解時間と水質調整タンク中の水素ガス濃度の関係

### 5.3. 炉外高温高圧水ループ装置と接続後の性能試験

既設「炉外高温高圧水ループ装置」に設置可能な溶存水素濃度制御装置を製作した。製作した溶存水素濃度制御装置の外観写真を図 5-4 に示す。装置サイズは幅 30cm、奥行き 30cm、高さ 150cm であり、重量は約 50kg、使用電源は AC100V、20A（電解電源は 100V、1A）である。また、溶存水素濃度制御装置を既設装置に接続し、溶存水素濃度制御装置を 24 時間稼働させて、既設装置の溶存水素濃度を測定することで、その性能試験を実施した。

第一に、既設装置の循環水が常温常圧の場合に、溶存水素濃度制御装置を 24 時間稼働させて既設装置の溶存水素濃度を測定した。まず、溶存水素濃度制御装置の電源を入れ、電解セルに電流 (1.02A) 流し、既設装置の水質調整タンクにて溶存水素濃度を調整した。測定した溶存水素濃度を図 5-5(1)に示す。この結果、装置を稼働している間は溶存水素濃度が経過時間とともに上昇し、最初約 50 $\mu$ g/L であった溶存水素濃度が 24 時間後には約 340 $\mu$ g/L になることが観測された。なお、溶存水素濃度の測定曲線がまだ横ばいになっていないことから、循環水の流量または経過時間によって溶存水素濃度が上昇することが推測される。以上の結果より、製作した溶存水素濃度制御装置は正常に動作していることが確認できた。

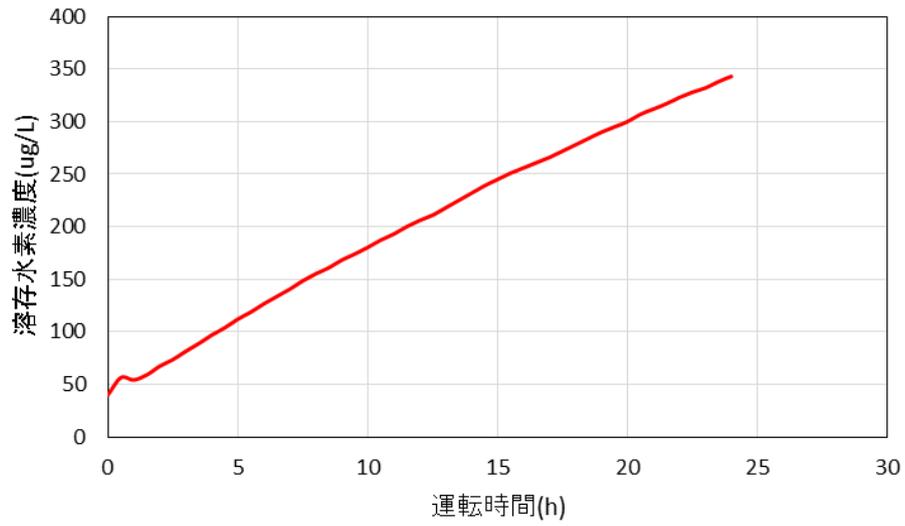
続いて、溶存水素濃度制御装置を稼働し、水質調整を行いながら既設装置を実際の試験条件で

ある高温高压水（温度 325°C、圧力 15MPa）にした後、溶存水素濃度を測定した結果を図 5-5(2) に示す。この結果、325°Cに到達した時点で溶存水素濃度は 700 $\mu\text{g/L}$  以上であり、その後 5 時間経過した時点で溶存水素濃度は 900 $\mu\text{g/L}$  以上であった。一方で運転時間が 15 時間経過した時点で 670 $\mu\text{g/L}$  程度まで溶存水素濃度が減少した。これは、水質調整タンクの空間中水素濃度を希釈するために使用している窒素ガスの流量を多くしてしまったためと考えられる。窒素ガスの流量を調整し、溶存水素濃度制御装置の運転時間が 25 時間経過した時点で再び溶存水素濃度は 900 $\mu\text{g/L}$  以上であることが観測された。

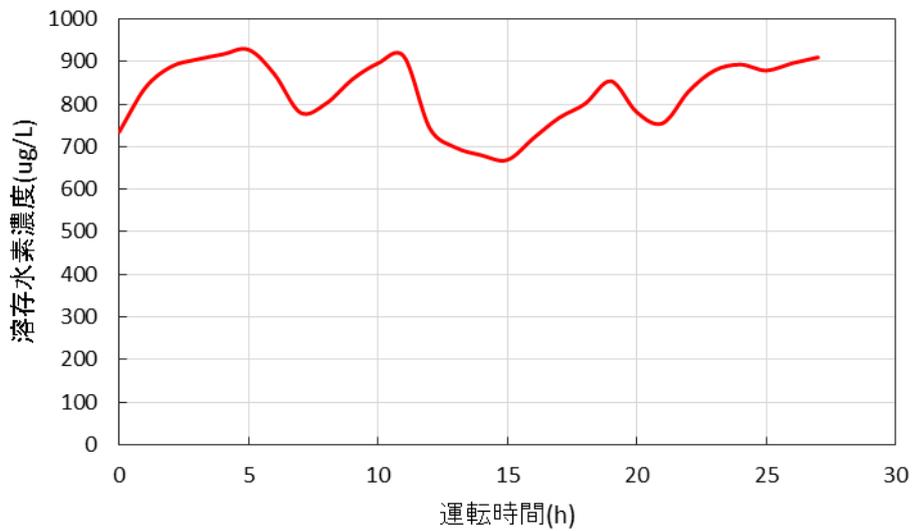
本性能試験により、溶存水素濃度制御装置を用いることで既設装置の溶存水素濃度を 900 $\mu\text{g/L}$  にすることができることが確認できた。



図 5-4 溶存水素濃度制御装置の外観写真



(1) 常温常圧水中の溶存水素濃度



(2) 高温高圧水試験中の溶存水素濃度

図 5-5 循環水における溶存水素濃度の変化

## 6. まとめ

軽水炉高温高压水を模擬した環境における構造材料の応力腐食割れ（SCC）等の現象を把握するため、循環水を電気分解することにより溶存水素濃度を制御可能な2室型電解セル構造を持つ溶存水素濃度制御装置の開発のための基本設計及びその性能を調べた結果、以下のことが分かった。

- 純水中に水素を溶存させるための水素生成方法として、外部から加えられた電場によってイオンを移動させることのできる固体高分子電解質膜を採用し、陰極側の水質変化について溶存水素濃度のみを制御することが可能となった。
- 陰極及び陽極のそれぞれに一定の電圧を負荷することにより、純水の水温の変化及び溶存水素濃度の変化を調べた結果、電圧の印加時間の増加とともに、純水中の溶存水素濃度は増加することが分かった。また、印加電圧の増加とともに、純水中の溶存水素濃度は増加する傾向にあり、電流密度に着目すると、電流密度の増加とともに、溶存水素濃度も増加する傾向にあることが分かった。
- 循環系における溶存水素濃度の変化を調べた結果、電流密度により水素生成量は決まり、循環系においては流量によって初期の溶存水素濃度の立ち上がりにも影響することから、電解質膜が破損しない最適な流量を設定して使用することが望ましいことが分かった。
- 実機を製作し、炉外高温高压水ループ装置に接続した後、性能試験を実施した結果、循環水中の溶存水素濃度が上昇し、溶存水素濃度が900 $\mu\text{g/L}$ まで調整可能であることが分かった。一方で、水質調整タンクの空間中水素濃度を希釈するための窒素ガスの流量を多くしてしまうと溶存水素濃度が減少することが分かった。

以上の結果より、水素溶存効率を評価し、既設「高温高压水ループ装置」に設置する溶存水素濃度制御装置の性能を評価し、製作仕様を確定した。また、実際に既設「高温高压水ループ装置」に接続可能な溶存水素濃度制御装置を製作し、その性能を評価できた。本開発により、既設「高温高压水ループ装置」を用いた試験を行う際の循環水中における溶存水素濃度の調整にあたって、純水素ガス及び高水素濃度ガス等のガスボンベを使用することもないことから、大掛かりな安全対策用防爆設備及び排気設備は必要なく、安全に試験を実施することを可能とした。

## 謝 辞

本研究開発成果は、経済産業省資源エネルギー庁からの受託事業として実施した発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業「特殊環境下で使用可能な監視システム高度化」の一部である。

本研究開発の実施にあたり、大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部 土谷邦彦部長に有意義なご指導及びご助言を頂いた。また、本報告書をまとめるにあたり、大洗研究所 高温ガス炉研究開発センター 高温工学試験研究炉部 堀直彦次長に有意義なご助言を頂いた。以上の方々に深甚なる謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 日本原子力学会編，“原子炉水化学ハンドブック”，日本原子力学会編，p. 310，2000.
- [2] 原子力安全基盤機構，“国内BWRプラントの水化学の動向に関する調査報告書”，p. 80，2012.
- [3] 岡田祐次，馬籠博克，埜博 他，“軽水炉照射環境下におけるIASCC研究のための水環境調整設備の整備(1)”，JAEA-Technology 2013-019，236p.，2013.
- [4] 井上雅弘，“水素の安全利用”，電気設備学会誌，Vol. 36，No. 4，pp. 263-266，2016.
- [5] 株式会社サンアクティス，“イオン交換膜とは”，  
[https://www.sunactis.co.jp/technical\\_info/index1.html](https://www.sunactis.co.jp/technical_info/index1.html)（参照：2022年3月1日）。
- [6] 宮武健治，“固体高分子形燃料電池—電解質膜の進展—”，高分子，vol. 54，no. 12，2005，pp. 866-869.
- [7] 竹中啓恭，“イオン交換膜をSPEとして用いる電気化学プロセス”，日本海水学会誌，vol.45，no. 1，1991，pp.3-10.
- [8] 中野寛子，上原聡明，武内伴照，柴田裕司，中村仁一，松井義典，土谷邦彦，“炉外高温高压水ループ試験装置の性能試験（受託研究）”，JAEA-Technology 2015-049，61p.，2016.
- [9] 石田拓也，葛西裕，浦山健治，瀧川敏算，“Nafion膜の構造と力学特性”，材料と科学，vol. 56，no. 11，pp. 1005-1009，2007.

## 付録 溶存水素濃度制御装置の操作方法

### 1. 安全上の注意

溶存水素濃度制御装置は、安全上の注意点を必ず守り、正しく扱うこと。

- ①作業をするときは、電源を切る。
- ②危険を感じたときは、作業を中断する。
- ③規定された用途以外では使用しない。
- ④改造しない。
- ⑤仕様電源以外では使用しない。
- ⑥装置設置室内は十分な換気を行う。

### 2. 装置の概要

「溶存水素濃度制御装置」は、水素イオン透過膜を使用した水の電気分解法による溶存水素濃度を制御する装置である。水の電気分解を行う電解セルの陰極側（－）では水素ガスが発生し、陽極側（＋）では酸素ガスが発生する。また、電解セルの陰極液出口には水質を管理するために電気伝導率計と簡易な溶存水素濃度計を付帯している。

陰極液受入ライン及び陰極液供給ライン、バイパスラインには自動開閉弁が設置されており、異常時には、他の計器の保護を目的として、警報ならびに自動的に安全動作を行うシステムを有している。

### 3. 性能・仕様

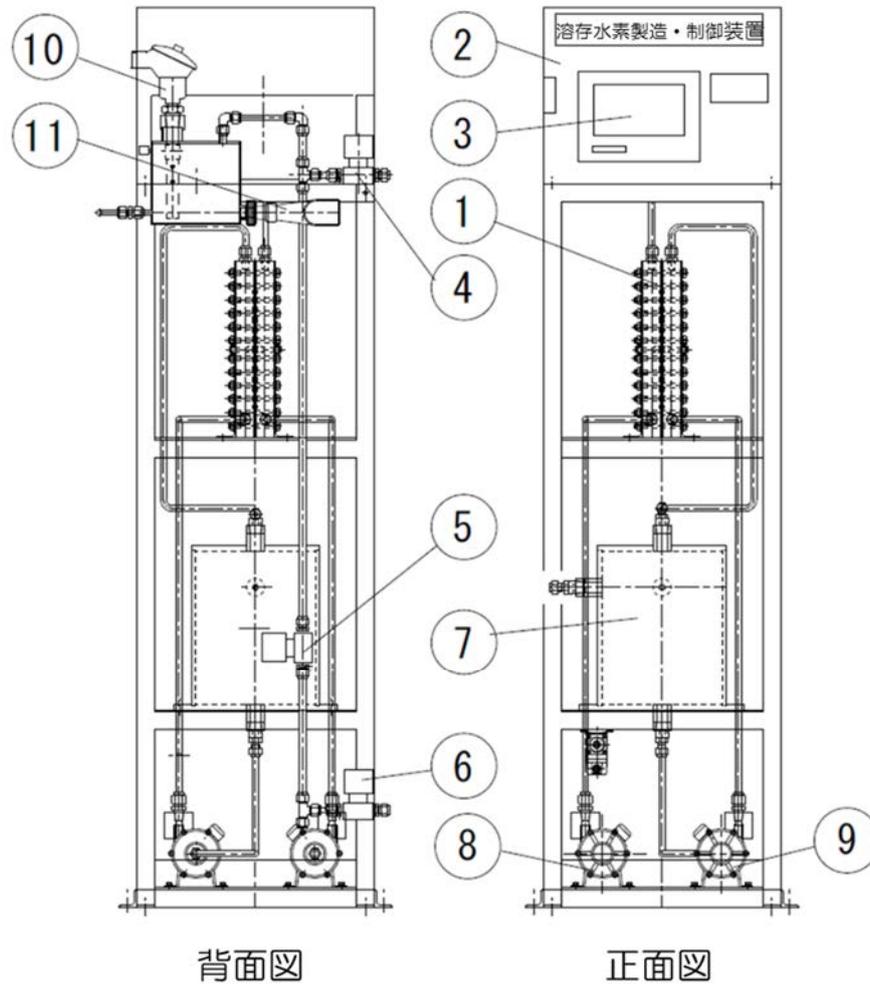
溶存水素濃度制御装置の性能及び仕様について、以下の付表 1 に示す。

付表 1 溶存水素濃度制御装置の性能及び仕様

溶存水素調整濃度	500 $\mu$ g/L 最大
電解セル電極寸法	200×200 mm
電解セル電極面積	400 cm <sup>2</sup>
陰極液流量（ポンプ送液量）	5～10 L/min
陽極液流量（ポンプ送液量）	5～10 L/min
電解膜	Nafion <sup>TM</sup> 水素透過膜
直流電源	電圧 150 V、電流 2 A
装置寸法	W400×D400×H1630 mm
装置重量	65 kg
電源	AC100V 15A

#### 4. 各部の名称

溶存水素濃度制御装置における各部の名称について、以下の付図1に示す。

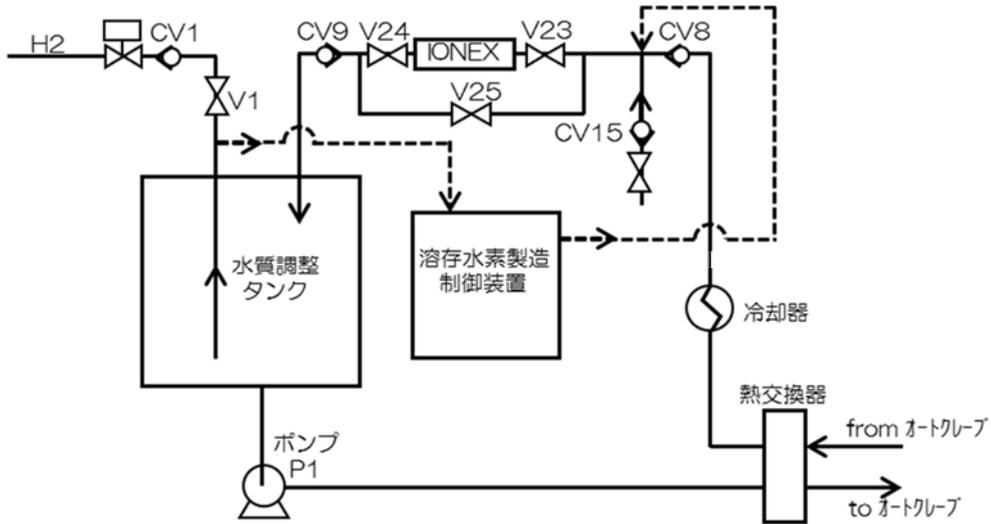


No	部品名称	No	部品名称
①	電解セル	⑦	気水分離器
②	操作盤	⑧	陰極液ポンプ
③	タッチパネル	⑨	陽極液ポンプ
④	電解セル出口ライン自動弁	⑩	電気伝導率計
⑤	バイパスライン自動弁	⑪	溶存水素計
⑥	電解セル入口ライン自動弁		

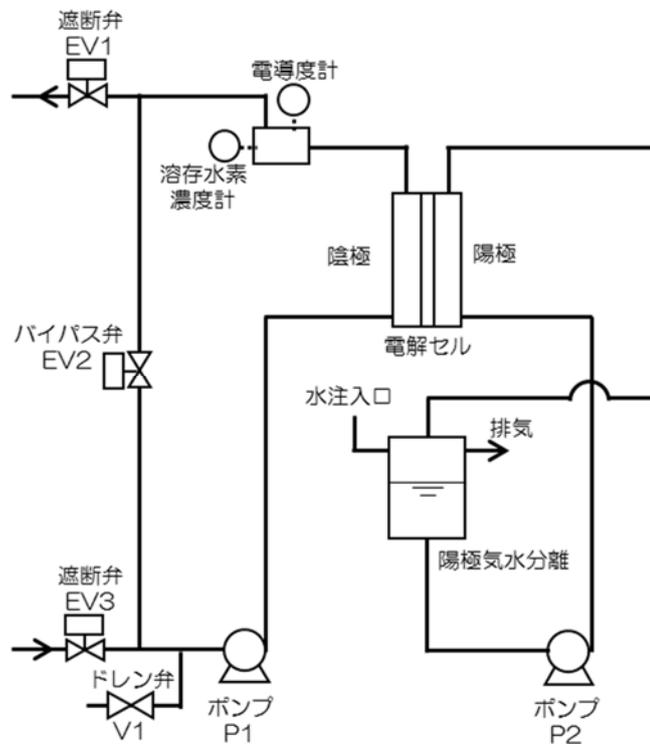
付図 1 溶存水素濃度制御装置の各部名称

## 5. 系統図

溶存水素濃度制御装置の配管系統図について以下の付図 2 及び 3 に示す。



付図 2 溶存水素濃度制御装置の配管系統図



付図 3 溶存水素濃度制御装置の配管図

## 6. 運転操作

溶存水素濃度制御装置の運転操作について、以下の手順で行う。

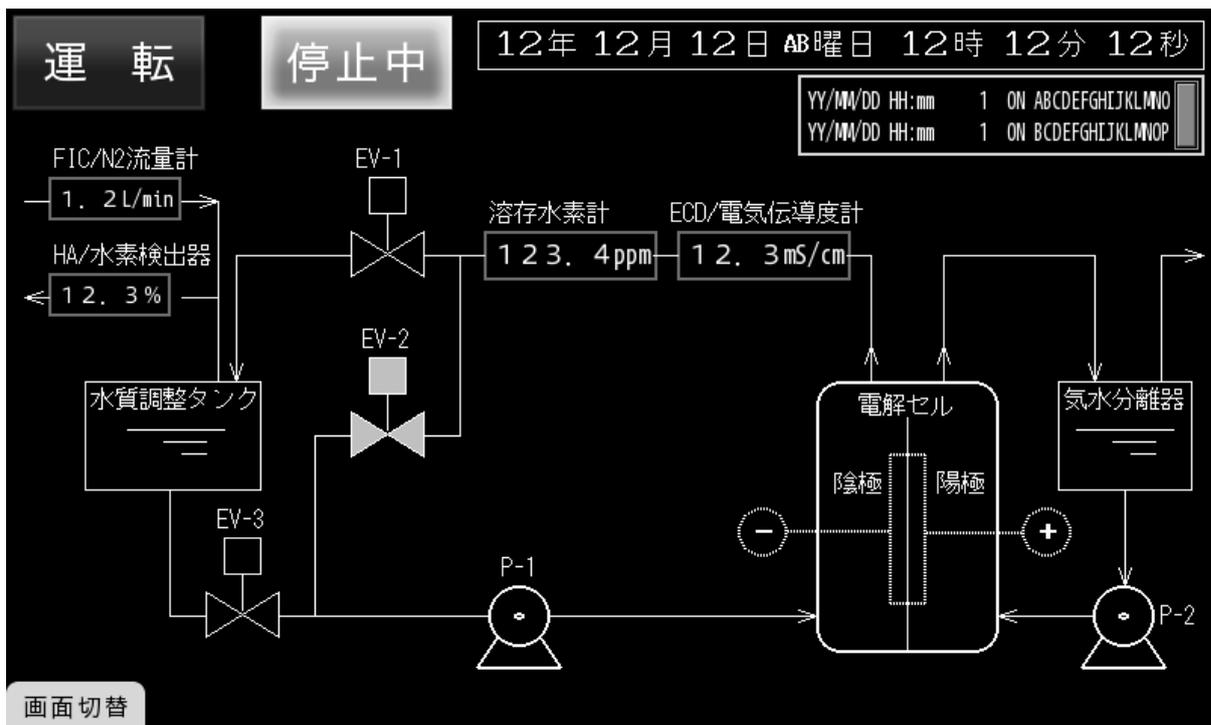
- (1) 気水分離器内に蒸留水を 5L 程度注入する。
- (2) 陰極液ポンプ P-1 に EV-1 ドレン弁より吸引し、呼び水を行う。
- (3) 主電源を入れた後、操作盤扉を開け、サーキットブレーカーを ON にし、タッチパネルを表示させる。
- (4) 直流電源により電圧値及び電流値を設定する。
- (5) (1)~(4)の操作で装置がスタンバイ状態となる。

## 7. タッチパネル操作

溶存水素濃度制御装置の操作についてはタッチパネル上で行う。パネルの概要について、以下に示す。

### (1) 溶存水素濃度操作パネル概要

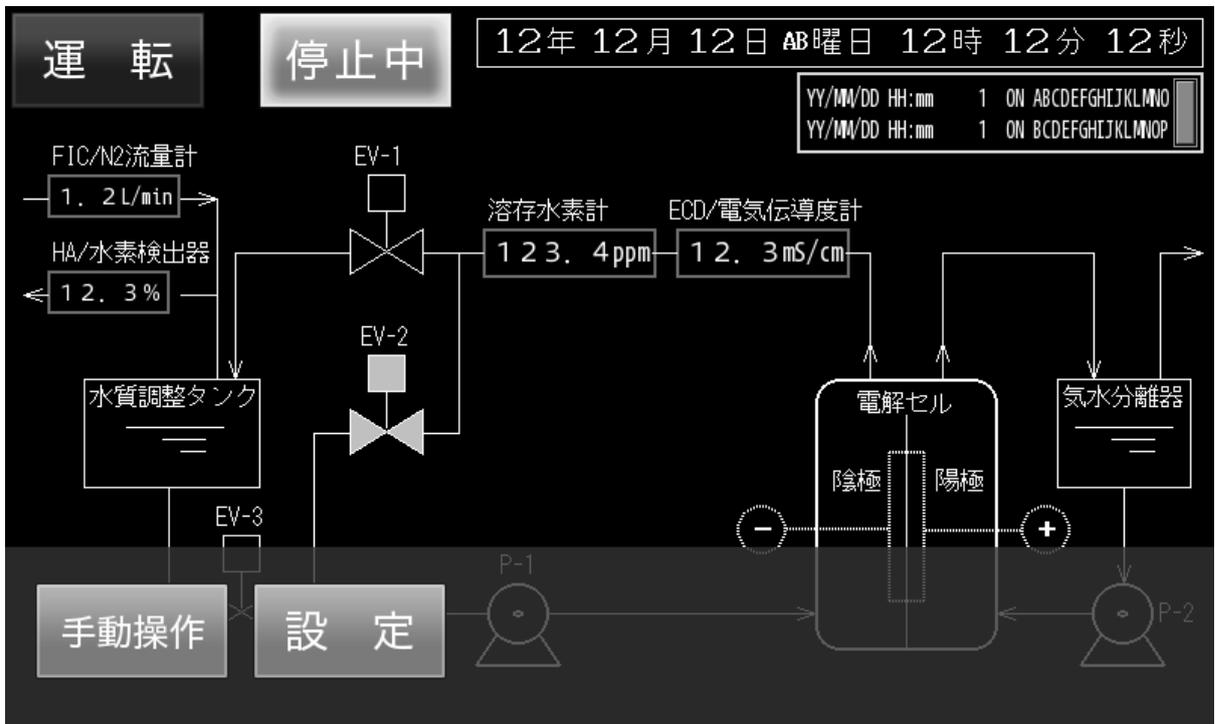
初期画面（フロー画面）



・ EV-1 (閉) EV-2 (開) EV-3 (閉) P-1 停止 P-2 停止 直流電源 OFF

(2) 運転前準備

初期画面左下の「画面切替」タブをタッチすると、画面切替タブが表示される。



表示された「設定」タブをタッチして、設定画面に移行する。

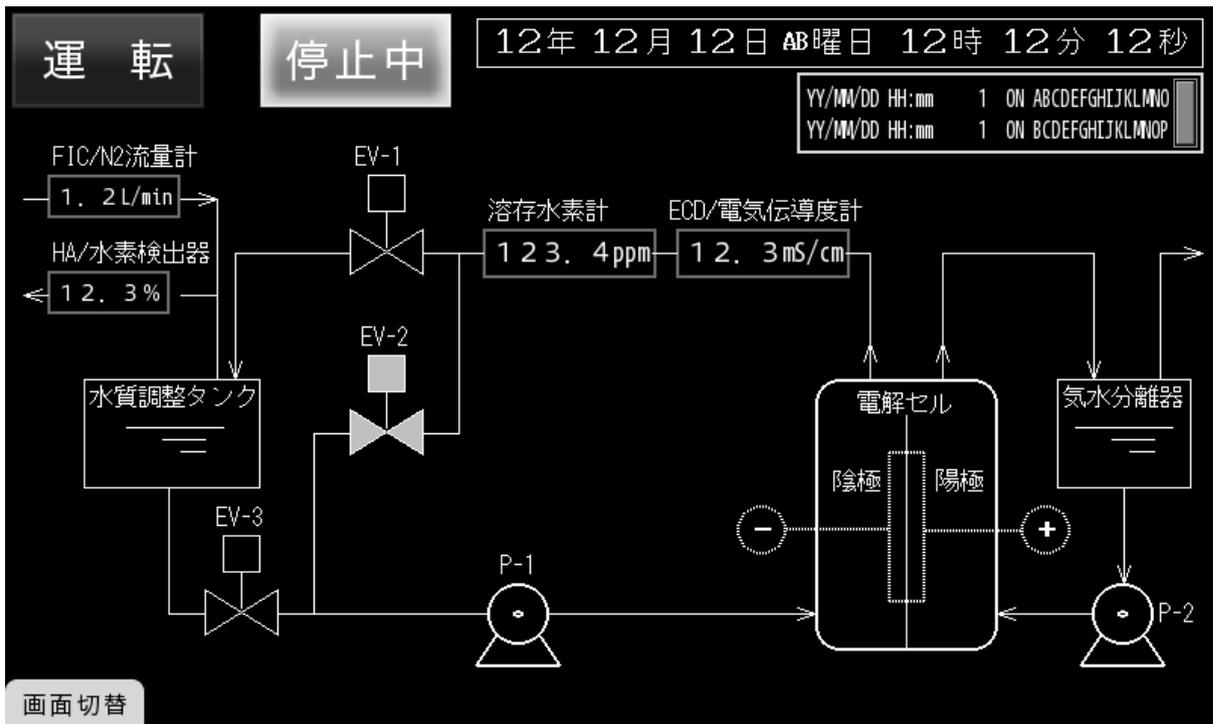
設定画面



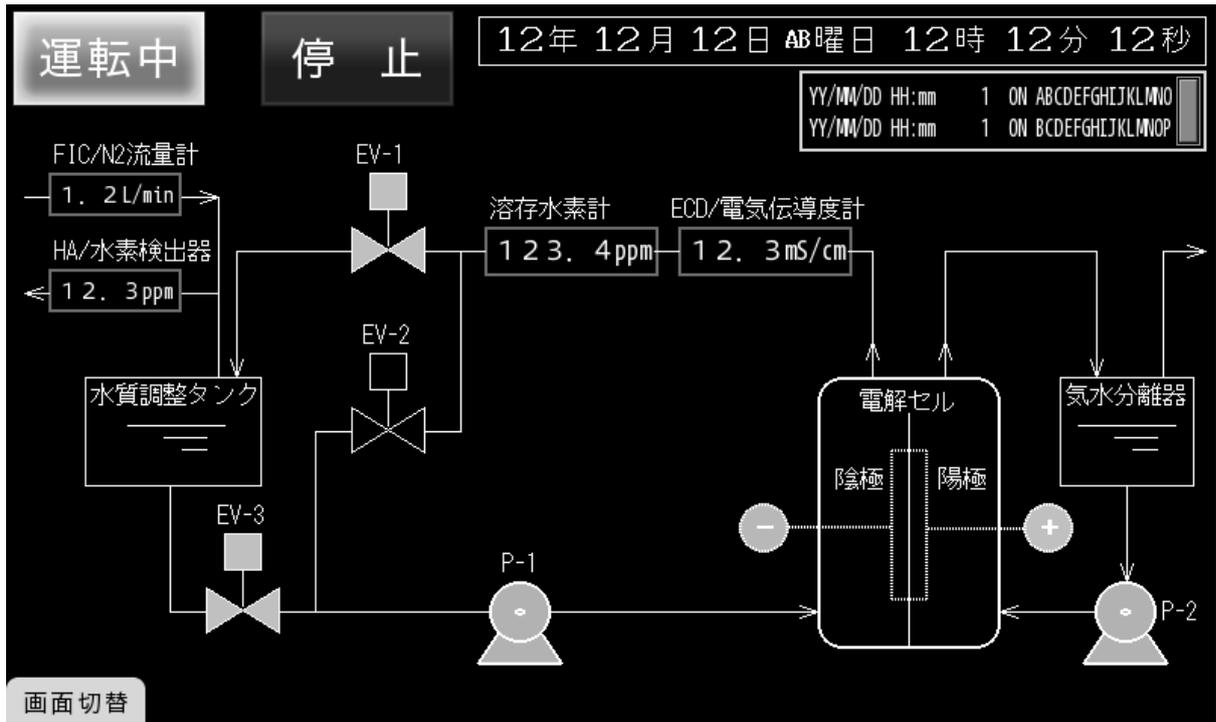
設定したい表示枠をタッチすると、枠が点滅する。テンキーにより設定値を入力する。

- 1)HA 水素検出器の警報設定
- 2)FIC N<sub>2</sub> 流量計の流量設定
- 3)溶存水素濃度の設定
- 4)ECD 電気伝導率の設定
- 5)全ての設定が終了したら、テンキーの「フロー画面」をタッチする。初期画面（フロー画面）へ移行する。

(3)運転



フロー画面の「運転」タブをタッチする。  
各設定に従い運転を開始する。

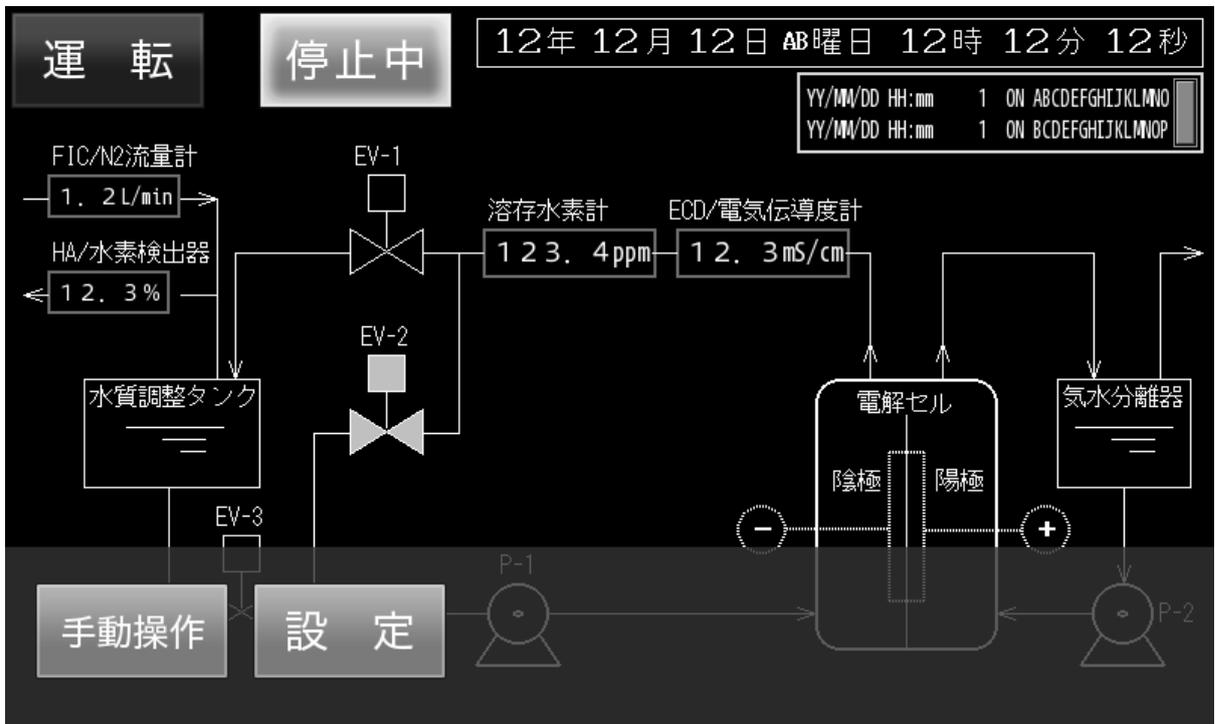


EV-1 (開) EV-2 (閉) EV-3 (開) P-1 起動 P-2 起動 直流電源 ON  
 EV 動作 5 秒後に P-1、P-2 起動

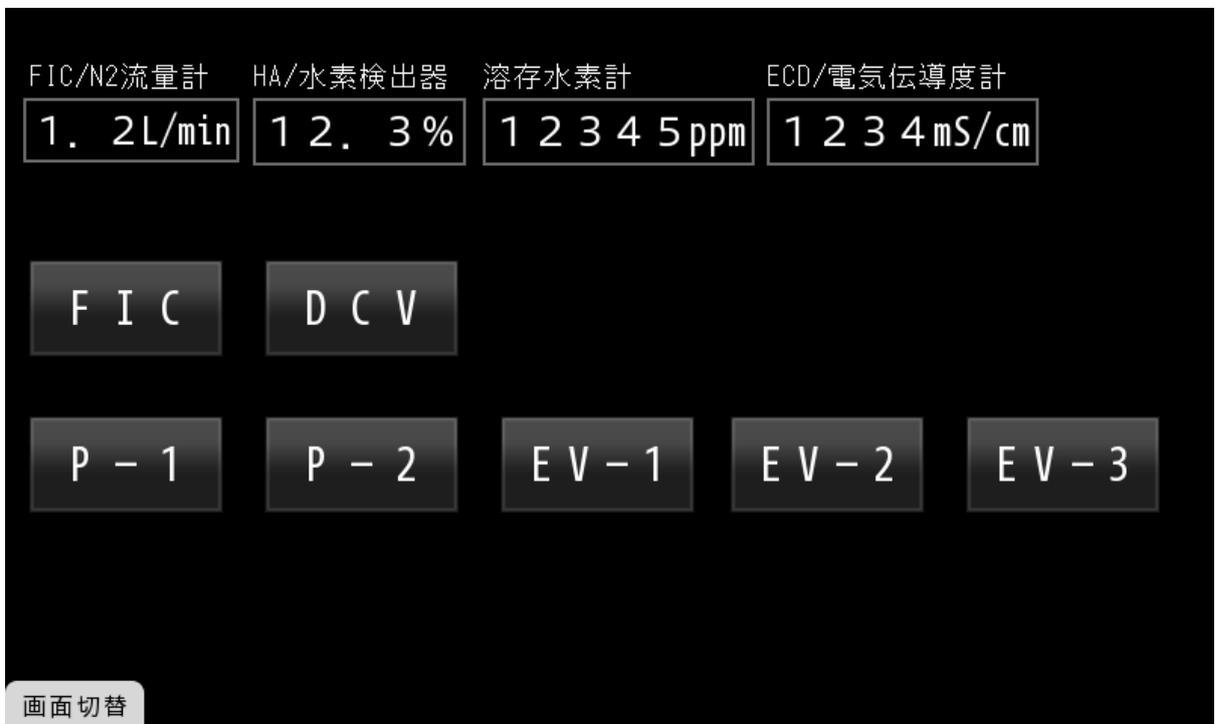
フロー画面の「停止」タブをタッチすると運転を停止する。

(4)手動操作

初期画面左下の「画面切替」タブをタッチすると、画面切替タブが表示される。



表示された「手動操作」タブをタッチして手動操作画面に移行する。



操作したいタブをタッチすると、タブ色が反転し、単独起動する。例) P-1 起動

- ・各表示枠は実際の計測値

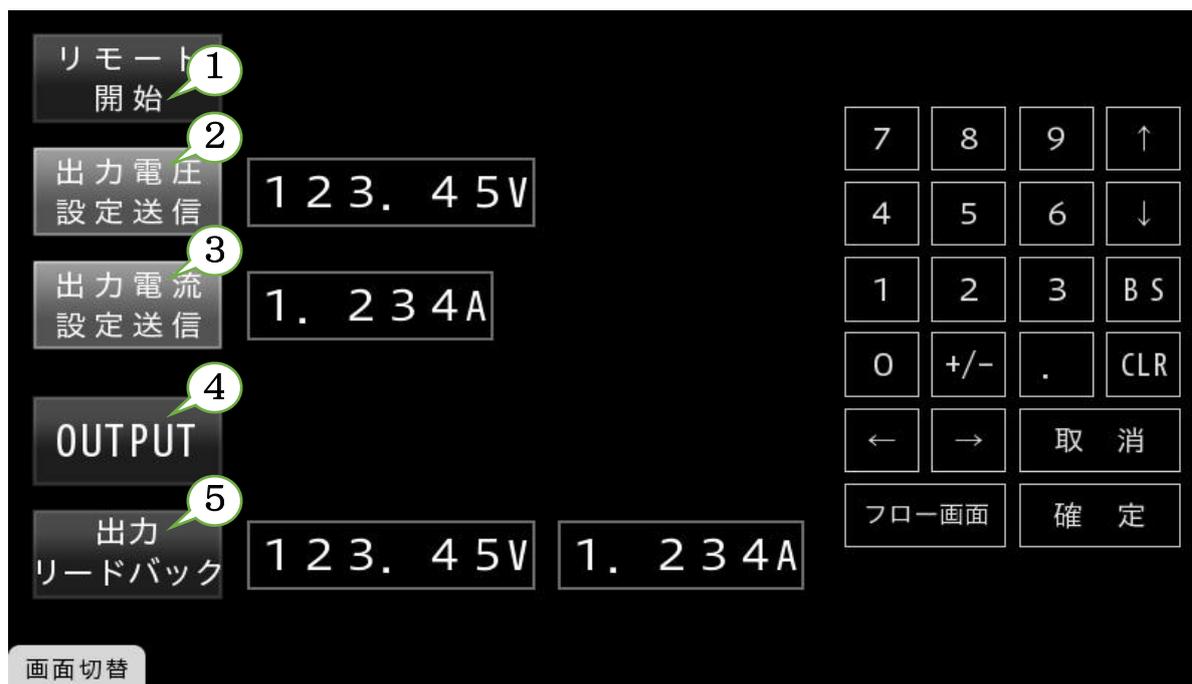


画面左下の「画面切替」タブをタッチすると、画面切替タブが表示される。

- ・「フロー画面」「設定」のいずれかをタッチすると、それぞれの画面へ移行する。
- ・手動動作中に「フロー画面」へ移行しても、手動起動されている各機器の動作はフロー画面に反映される。



(5)電流電圧発生機操作



- 1)リモート開始
 

スイッチ ON でタッチパネルからのコントロールが可能。  
 ※DC 電源のリモートランプの点灯を確認。  
 ON 中に再度タッチすることで表示は OFF になるが、実際のリモートは続行。  
 リモートを OFF にする場合は、DC 電源のスイッチにてリモート解除。
- 2)出力電圧設定送信スイッチ
 

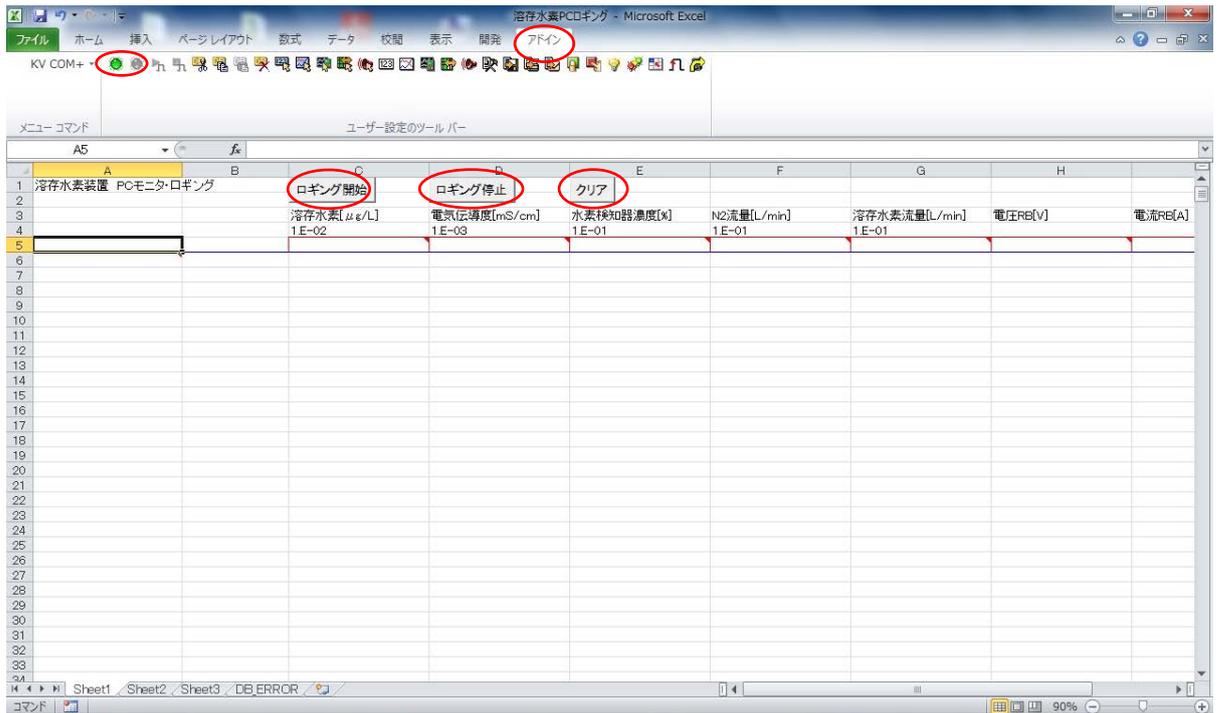
スイッチをタッチし、テンキーで数値入力後、確定をタッチすることで出力電圧設定を変更可能。  
 ※リモート中、出力リードバック OFF の状態で電圧設定を操作すること。
- 3)出力電流設定送信スイッチ
 

スイッチをタッチし、テンキーで数値入力後、確定をタッチすることで出力電流設定を変更可能。  
 ※リモート中、出力リードバック OFF の状態で電流設定を操作すること。
- 4)OUTPUT スイッチ
 

スイッチ ON : 設定された電流電圧を出力。  
 スイッチ OFF : 出力を切断。  
 ※リモート開始 ON (ランプ点灯中)、出力リードバック OFF (ランプ消灯中) で操作すること。
- 5)出力リードバックスイッチ
 

スイッチ ON : 現在の出力値を数秒ごとに表示更新。  
 スイッチ OFF : リードバック中止。  
 ※1)~4)の操作を行うときは OFF にすること。

(6) PC ロギング



1)PC ロギングソフトを開きアドインタブを開く。

2)左上の丸で囲んだ緑の丸スイッチをクリックする。

溶存水素濃度制御装置との通信が開始され、指定のセルにて現在値をモニタ表示される。

3)ロギング開始スイッチをクリックする。

PC ロギング待機の状態になり、装置の運転開始を開始することによりタッチパネルで設定されたサンプリング周期のロギングを行う。溶存水素濃度制御装置を停止させるとロギング待機状態に戻る。

ロギング停止スイッチをクリックすると、運転中であってもロギングを停止することができる。

クリアスイッチをクリックすることにより、セルにロギングされたデータをクリアすることができる。

※保存方法はファイルタブから“名前をつけて保存”を行うこと。



