



HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置
を用いた動特性解析コードの検証
—蒸気発生器及び放熱器を用いた
2次ヘリウムガス冷却システム—
(受託研究)

2005年3月

佐藤 博之・大橋 弘史・稲葉 良知・前田 幸政
武田 哲明・西原 哲夫・稻垣 嘉之

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂
郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料セン
ター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をお
こなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research
Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy
Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2005

編集兼発行 日本原子力研究所

HTTR 水素製造システム実規模単一反応管試験装置を用いた
動特性解析コードの検証
－蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システム－
(受託研究)

日本原子力研究所大洗研究所核熱利用研究部
佐藤 博之・大橋 弘史・稲葉 良知・前田 幸政
武田 哲明・西原 哲夫・稲垣 嘉之

(2005年1月27日受理)

原研は高温核熱利用技術の確立並びに将来の水素利用社会への貢献を目指して、HTTR に水素製造システムを接続するための研究開発を進めている。原子炉と水素製造設備の接続に係わる技術課題の一つとして、水素製造設備の化学反応器の負荷変動に起因する2次ヘリウムガス温度変動が原子炉へ伝播することによる原子炉スクラムの回避が挙げられる。この対策として、原研は化学反応器の下流に蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システム（以下、「冷却システム」と呼ぶ）を配置し、本冷却システムにより2次ヘリウムガスの熱過渡を吸収緩和し中間熱交換器入口2次ヘリウムガス温度を一定に制御することを提案している。

蒸気発生器と放熱器を用いた冷却システムについて解析コードの検証を行った。本冷却システムは放熱器の伝熱管外を流れる空気で冷却することにより蒸気発生器の圧力制御を行い、蒸気発生器出口2次ヘリウムガス温度を一定に保持する。この圧力制御特性は放熱器伝熱管外を流れる空気の伝熱特性に支配される。このため、実規模単一反応管試験装置による試験結果から空気の伝熱特性を求め、これを基に解析を行った結果、解析は冷却システムの圧力、温度、流量及び熱交換量等の試験結果を良く模擬でき、本コードの検証を行うことができた。

本報告は、解析モデルの概要及び検証解析結果について述べたものである。

Verification of HTTR Hydrogen Production System Analysis Code Using
Experimental Data of Mock-up Model Test Facility with a Full-scale Reaction Tube

— Cooling System of the Secondary Helium Gas Using
Steam Generator and Radiator —
(Contract Research)

Hiroyuki SATO, Hirofumi OHASHI, Yoshitomo INABA, Yukimasa MAEDA,
Tetsuaki TAKEDA, Tetsuo NISHIHARA and Yoshiyuki INAGAKI

Department of Advanced Nuclear Heat Technology
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received January 27, 2005)

In order to integrate a hydrogen production system with HTTR safely and economically, JAERI has been carried out R&D on a system integration technology related to a control technology. In a hydrogen production system using HTTR, it is required to control a secondary helium gas temperature within an allowable value at the inlet of the intermediate heat exchanger (IHX) to prevent a reactor scram. To mitigate thermal disturbance of the secondary helium gas caused by fluctuation of thermal load of a chemical reactor in the hydrogen production system and keep the secondary helium gas temperature at IHX inlet constant, a cooling system of the secondary helium gas using a steam generator(SG) and a radiator is designed to be installed at the downstream of the chemical reactor.

In order to verify a numerical analysis code of the cooling system, numerical analysis has been conducted. The secondary helium gas temperature at SG outlet could be kept constant at the saturation temperature of steam corresponding to SG pressure. The pressure controllability in SG is highly affected by the heat transfer characteristics of air which flows outside of the heat exchanger tube of the radiator. In order to verify a numerical analysis code of the cooling system, the heat transfer characteristics of air has been investigated with experimental results of a mock-up model test. It was confirmed that numerical analysis results were agreed well with experimental results, and the analysis code was successfully verified.

This report describes the numerical analysis model and verification analysis results.

Keywords: Nuclear Heat Utilization, Hydrogen Production System, HTTR, System Integration Technology, Cooling System of the Secondary Helium Gas, Steam Generator, Radiator, Numerical Analysis, Mock-up Model Test

Present study is entrusted from Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology.

目 次

1. 緒 言	1
2. 2次ヘリウムガス冷却システム	2
2. 1 目的	2
2. 2 蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システム	2
2. 3 試験装置の冷却システム	3
3. 解析コードのモデル化	8
3. 1 解析コードの概要	8
3. 2 試験装置解析モデル	8
4. 解析コードの検証	14
4. 1 蒸気発生器モデルの検証	14
4. 2 定常状態における放熱器モデルの検証	15
4. 3 非定常状態における蒸気発生器及び放熱器モデルの検証	17
5. 結 言	33
謝 辞	33
参考文献	33
付録	34

Contents

1. Introduction	1
2. Cooling System of the Secondary Helium Gas	2
2.1 Object of the Secondary Helium Gas Cooling System	2
2.2 Cooling System Using Steam Generator and Radiator	2
2.3 Cooling System of Mock-up Model Test Facility	3
3. Analysing Model of the Secondary Helium Gas Cooling System	8
3.1 Outline of Analysis Code of the Secondary Helium Gas Cooling System	8
3.2 Analysing Model of Mock-up Model Test Facility	8
4. Verification of Analysis Code	14
4.1 Verification of Analysing Model of Steam Generator	14
4.2 Verification of Analysing Model of Radiator at Steady State	15
4.3 Verification of Analysis Code at Unsteady State	17
5. Concluding Remarks	33
Acknowledgements	33
References	33
Appendix	34

1. 緒 言

高温ガス炉は、冷却材にヘリウムガス、主要構造材並びに減速材に黒鉛を用いることにより、1000°C近い原子炉出口冷却材温度を達成することができるため、発電のほか、水素製造、化学工業の熱源等、多用途にわたる利用が可能となる。特に水素は、近年の燃料電池自動車の実用化に向けての開発研究の高まりに見られるように、近い将来において需要の急増が予想される。しかし、自然界において単独で存在する水素はごく少量であり、ほとんどが水や化石燃料等の化合物の状態で存在していることから、水素製造には発電と同様にエネルギーを必要とする。したがって、将来予想される水素需要に対しては水素製造に必要な大量のエネルギーを環境への負荷をかけずに供給することが重要課題となる。高温ガス炉を水素製造の熱源とする水素製造システムは化石燃料を使わないことから、CO₂の排出が少ないため、将来の水素製造システムとして有望である。

日本原子力研究所（以下、「原研」と呼ぶ）では、原子力による将来の水素利用社会への貢献を目指し、高温ガス炉を熱源とした水素製造システムの研究開発を進めている。高温ガス炉を用いた水素製造システムを実用化するまでの技術課題は、①高温の核熱を水素製造設備に供給できる原子炉技術、②二酸化炭素を排出しない水素製造技術、③原子炉と水素製造設備の接続技術である。①の原子炉技術に関しては、我が国初の高温ガス炉、高温工学試験研究炉（HTTR：High Temperature Engineering Test Reactor）を用いた技術の開発を、また、②については、熱化学法 IS プロセスによる水からの水素製造技術の研究開発を進めている。③の原子炉と水素製造設備の接続に関する技術課題は、制御技術、安全設計技術、及び放射性物質及び可燃性物質の隔離技術に分けられる。

高温ガス炉に接続する水素製造設備の熱源は、中間熱交換器において1次ヘリウムガスと熱交換された高温の2次ヘリウムガスである。ここで、1次、及び2次ヘリウムガスは各々閉ループを形成しているため、水素製造設備側の化学反応器の負荷変動に起因して中間熱交換器戻り2次ヘリウムガス温度が変動した場合、原子炉戻り1次ヘリウムガス温度が変動し、原子炉がスクラムする可能性がある。水素製造設備側に起因する原子炉スクラムを回避するためには、中間熱交換器戻りヘリウムガス温度変動を抑制する制御技術が必要である。原研では、化学反応器の負荷変動時に原子炉への戻りヘリウムガスの熱過渡変化を抑制するため、化学反応器の下流に蒸気発生器と放熱器を設置し蒸気発生器の保有水の潜熱により2次ヘリウムガスの熱過渡を吸収する冷却システムを提案している。本冷却システムの実証と解析コード検証のためのデータ取得を目的として、実規模単一反応管試験装置（以下、「試験装置」と呼ぶ）を用い、起動停止試験、プラント特性試験（通常運転時の化学反応器負荷変動時の温度変動吸収）、反応停止試験（化学反応器負荷喪失時の温度変動吸収）等の試験を実施した。また、非定常時の二相流の計算ができるRELAP5を使用し、2次ヘリウムガス冷却システムの動特性解析コードの開発を行い⁽¹⁾、試験装置の試験結果を用いて検証解析を行った。

本報では、反応停止試験結果を用いて行った蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システムの動特性解析コードの検証結果について述べる。

2. 2次ヘリウムガス冷却システム

2. 1 目的

高温ガス炉を熱源とした水素製造システムにおいて、2次ヘリウムガスの熱を用いて水素を製造する水素製造設備は原子炉の2次冷却設備であるため、原子炉の出力に対応した負荷で運転を行う必要がある。原子炉は緩やかな温度変動を想定して設計されているため、緩やかな出力変化速度で起動停止、出力調整等の運転を行う。しかし、化学反応による温度変動は急激であるため、水素製造設備の化学反応器の負荷変化速度は原子炉の出力変化速度よりも大きい。例えば、起動時には、化学反応器への原料供給量の増加に伴い化学反応器の負荷が原子炉の出力変化よりも大きく増加し、化学反応器出口における2次ヘリウムガス温度が低下する。一方、停止時には、化学反応器への原料供給量の減少に伴い化学反応器の負荷が原子炉の出力変化よりも大きく減少し、化学反応器出口における2次ヘリウムガス温度が上昇する。また、水素製造運転中には、需要に応じた計画的な水素生産量の調整、すなわち化学反応器の負荷調整を行う必要があると考えられるが、起動停止時と同様に、原子炉出力調整に対応して化学反応器の負荷調整を行う運転は非常に困難である。さらには、水素製造設備の機器故障等による計画外の化学反応器の負荷変動も起こりうる。化学反応器の負荷変動に伴い水素製造設備の除熱量が変動した場合、2次ヘリウムガスの中間熱交換器戻り温度が変動し、この結果、1次ヘリウムガスの原子炉戻り温度変動が生じ、原子炉スクラムの原因となる可能性がある。原子炉の起動停止及び出力調整に連動して安定に水素製造設備の運転を行うと共に、化学反応器の負荷変動による原子炉スクラムを防止するため、起動停止及び化学反応器の負荷変動等に起因する2次ヘリウムガス温度変動を緩和し、中間熱交換器戻り2次ヘリウムガス温度を許容範囲内に制御する技術が必要である。

2. 2 蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システム

原研は、水蒸気改質法を用いて検討した HTTR 水素製造システムの設計において、2次ヘリウムガスループ内の化学反応器の下流に蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システムを配置し、起動停止及び化学反応器の負荷変動等に伴う化学反応器出口における2次ヘリウムガス温度変動を本冷却システムで緩和し、2次ヘリウムガスの中間熱交換器戻り温度を所定の値になるように制御することとした。HTTR の設計では、1次ヘリウムガスの原子炉戻り温度が定格運転時の 395°C に対して 425°Cまで上昇した場合、原子炉はスクラムする。このため、HTTR に接続する水素製造システムでは、2次ヘリウムガスの温度変動を ±10°C 以内に制御することを目標としている。本冷却システムでは、蒸気発生器内の圧力を制御、すなわち蒸気発生器内の保有水飽和温度を制御することにより、蒸気発生器出口における2次ヘリウムガス温度を制御することが可能である。

2次ヘリウムガス冷却システムの運転状態は、①起動停止及び通常運転時、②化学反応器の負荷喪失時の2つに区分される。起動停止及び通常運転時には蒸気発生器単独で、化学反応器の負荷喪失時には蒸気発生器及び蒸気発生器の上部に設置した空冷の放熱器を用いて、蒸気発生器内の圧力を一定に制御し、2次ヘリウムガス温度変動を緩和する。以下に詳細な運転方法を示す。

2. 2. 1 起動停止及び通常運転時

起動停止及び通常運転時には、蒸気発生器に設置された圧力調整弁を用いて蒸気発生器内の圧力を一定に制御する。また、水蒸気改質法のように水蒸気が原料として必要な水素製造設備の場合には、蒸気発生器は、水蒸気を化学反応器に供給する目的を併せ持つ。圧力調整に使用された水蒸気は、放熱器で冷却され凝縮水となるが、この凝縮水は、直接、蒸気発生器へは供給されず、給水系に戻される。

2. 2. 2 化学反応器の負荷喪失時

化学反応器の負荷喪失時には、蒸気発生器出口 2 次ヘリウムガス温度を一定に保持するため、通常運転時に比べて 2 倍以上の 2 次ヘリウムガスの熱量を蒸気発生器で除去する必要がある。この際、蒸気発生器における蒸気発生量は 2 倍以上となるため、蒸気発生器の伝熱管が露出しない保有水量を確保するためには、通常運転時の 2 倍以上の給水量が必要となる。そのため、化学反応器の負荷喪失時には、化学反応器への水蒸気供給を停止すると共に、発生した水蒸気の全量を放熱器へ供給し、放熱器で冷却され凝縮水となった水を蒸気発生器へと戻す閉サイクルを形成することで、蒸気発生器への給水を不要とする設計とした。蒸気発生器 - 放熱器間の水蒸気 - 凝縮水の循環は、受動的安全性を高めるために、自然循環とした。本冷却システムにおける自然循環のメカニズムは次のとおりである。蒸気発生器で発生した水蒸気が放熱器で冷却され凝縮する時に、体積が減少し、放熱器内の圧力が蒸気発生器内の圧力よりも減少する。この圧力差により蒸気発生器で発生した水蒸気が放熱器へと吸い上げられる。放熱器で冷却され生成した凝縮水は、放熱器下流の蒸気発生器への戻り配管内に蓄積され、自重によって蒸気発生器へと戻ることにより、自然循環が成立する。

2 次ヘリウムガスの温度変動緩和のために重要である蒸気発生器内圧力は、放熱器での熱交換量より制御することができる。蒸気発生器内の圧力が静定する条件では、以下の関係が成立する。

$$Q_V = Q_C \quad (2.1)$$

ここで Q_V : 蒸気発生器で蒸気生成に使われた熱量(蒸気発生器での熱交換量 - 大気への放熱量)、 Q_C : 放熱器で蒸気を凝縮させるのに使われた熱量(放熱器での熱交換量 + 大気への放熱量)である。放熱器の熱交換量不足、すなわち蒸気発生器での蒸気発生量が放熱器での凝縮量を上回っており、 $Q_V > Q_C$ の状態である時、蒸気発生器内の圧力は上昇する。これに伴い、蒸気発生器内の保有水の飽和温度も上昇するため、蒸気発生器におけるヘリウムガスと保有水との温度差が低下し、 Q_V が減少する。これと同時に、放熱器における水蒸気と空気との温度差が増加し、 Q_C が増加する。結果として、 Q_C と Q_V がバランスする条件まで蒸気発生器内の圧力が上昇し、静定する。一方、放熱器の熱交換量過剰、すなわち放熱器での凝縮量が蒸気発生器での蒸気発生量を上回っており、 $Q_V < Q_C$ の状態である時、蒸気発生器内の圧力は、 Q_V と Q_C がバランスする条件まで低下する。蒸気発生器出口における 2 次ヘリウムガス温度を所定の範囲内に維持するためには、蒸気発生器圧力を所定の圧力範囲内に制御することが必要であり、化学反応器負荷喪失により増加する Q_V と Q_C が所定の圧力範囲内でバランスするように放熱器熱交換量の制御を行う。

2. 3 試験装置の冷却システム

試験装置では水素製造方法として工業界で一般的に使用されている水蒸気改質法を採用し、ヘリウムガスループ内の化学反応器（水蒸気改質器）の下流に蒸気発生器と放熱器を用いた冷却システムを配置した。Fig.2.1に試験装置の系統図を示す。本試験装置は、熱源としてHTTRの中間熱交換器（10MW）の替わりに電気ヒータ（420kW）を使用している。水蒸気改質器及び冷却システムを設置したヘリウムガスループは、HTTRに接続する水素製造システムの2次ヘリウムガスループを模擬している。試験装置は、ヘリウムガスループのほか、不活性ガス供給設備、水蒸気改質反応の原料となる天然ガス及び水蒸気の供給設備、生成した水素等を燃焼処分する後処理設備から構成される。本試験装置では、水蒸気を原料として使用するため、冷却システムの蒸気発生器は、水蒸気供給設備の機能も有する。本試験装置の蒸気発生器及び放熱器の概要を以下に示す。

(1) 蒸気発生器

Fig.2.2に試験装置の蒸気発生器の構造図を示す。試験装置の蒸気発生器はケトル型の蒸気発生器であり、27本の伝熱管（直径25.4mm、肉厚4mm、長さ3500mm、有効伝面長さ3300mm）を有する。蒸気発生器の保有水と伝熱管内を流れるヘリウムガスは、伝熱管を介して熱交換し、その熱交換量の設計値は定格運転時で約135kW、化学反応器負荷喪失時で約251kWである。

(2) 放熱器

Fig.2.3に試験装置の放熱器の構造図を示す。放熱器は、化学反応停止時に蒸気発生器で発生した全量の蒸気を冷却し、凝縮させる能力を有する。試験装置の放熱器は、41本の環状フィン（フィン高さ15.9mm、ピッチ2.3mm）付きの伝熱管（直径25.4mm、肉厚4mm、長さ1200mm）を有し、管内を水蒸気、管外を空気が流れ、熱交換を行う。また、本試験装置では、様々な条件でのデータ取得のためにファンによる強制通風方式を採用し、ファンの回転数及び空気出口部に設置されたルーバーの開度を調節することにより冷却能力の調節が可能である。

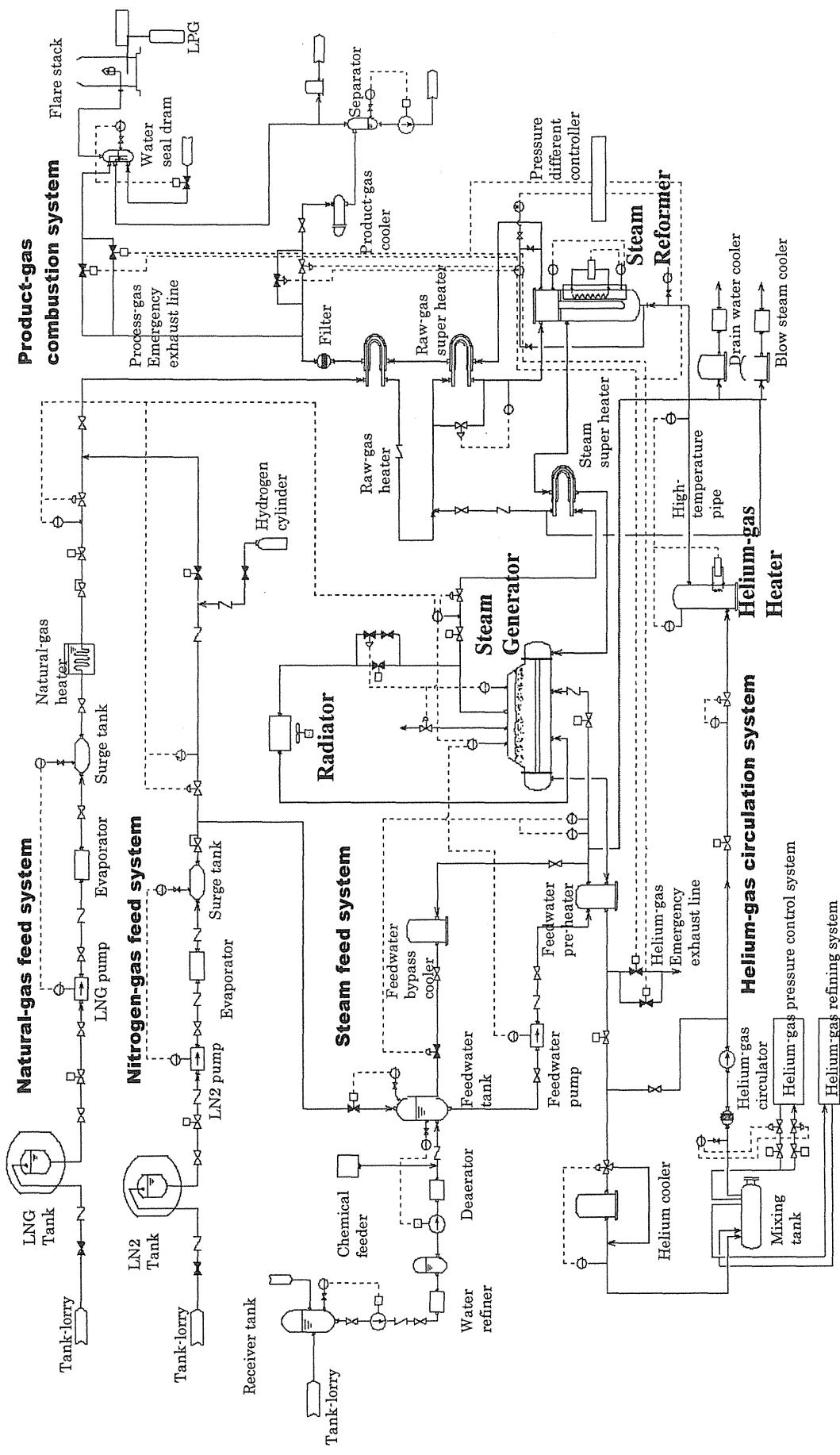


Fig. 2.1 Schematic flow diagram of the mock-up model test facility

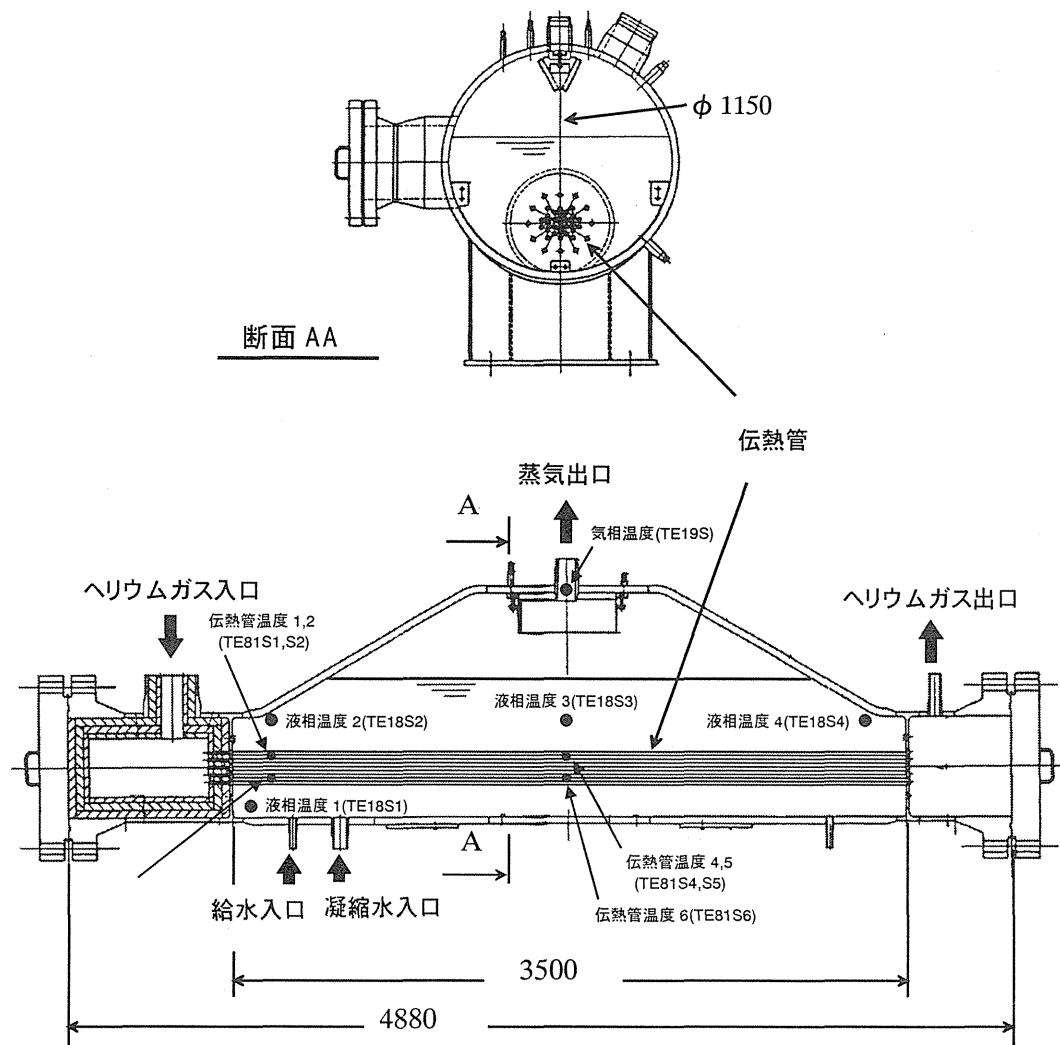


Fig 2.2 Schematic view of steam generator.

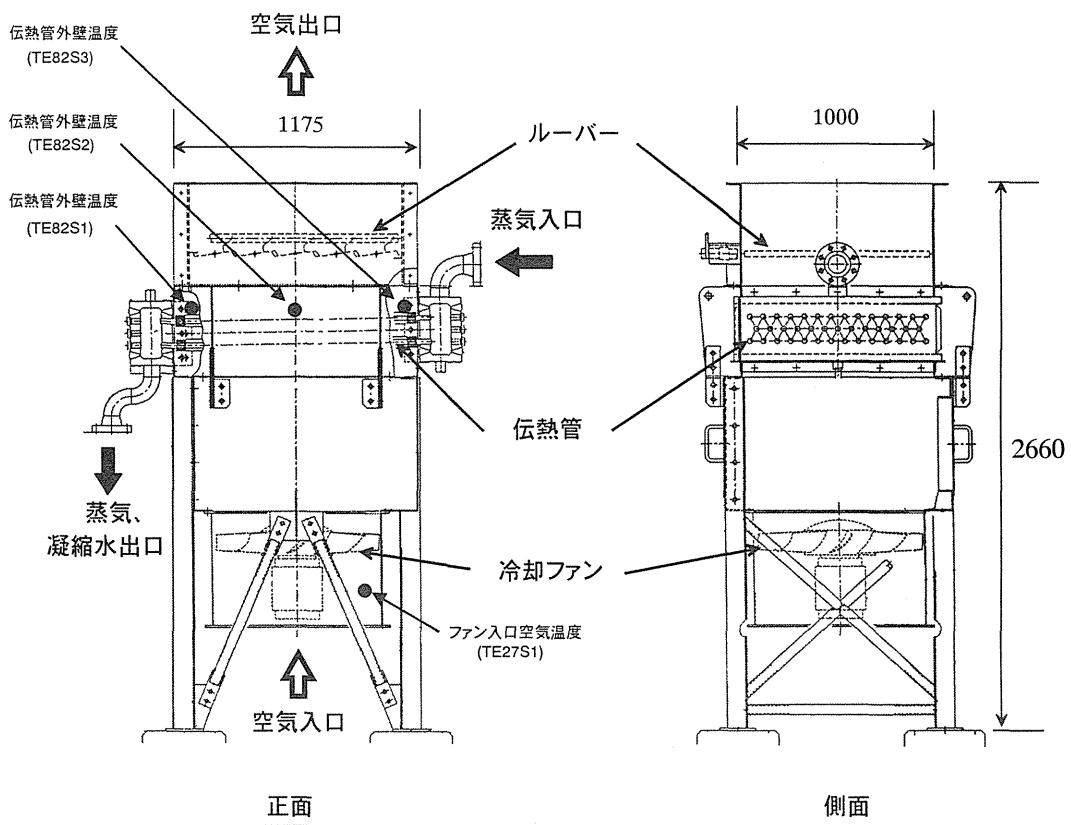


Fig 2.3 Schematic view of radiator.

3. 解析コードのモデル化

3. 1 解析コードの概要

水蒸気改質法による HTTR 水素製造システムの 2 次ヘリウムガス冷却システムを構成する蒸気発生器、及び放熱器の解析には RELAP5 を使用している。RELAP5 は 2 流体 2 相流モデルを採用した解析コードで、蒸気－水－非凝縮性ガスの混合流体システムの熱水力現象シミュレーションに適用可能な汎用コードである。また熱構造材モデルにより、解析セルの固体境界を通して移動する熱を計算でき、熱構造材の温度依存性を考慮した熱伝導率と体積熱容量は、テーブル、あるいは関数の形式で入力が可能である。さらに、熱構造材境界条件として、対称条件・断熱条件、時間依存の熱伝達率、時間依存の表面温度が使用できる。解析セルと接している熱構造材表面では、壁面から水への強制対流熱伝達、核沸騰、遷移沸騰、膜沸騰、凝縮伝熱等、水から壁面への熱伝達の相関式を含んだ熱伝達パッケージが用意されている。蒸気発生器のヘリウムガス側および放熱器の空気側の伝熱流動計算については新規モジュールを RELAP5 に追加した⁽¹⁾。RELAP5（水側）と新規モジュール（蒸気発生器のヘリウムガス側および放熱器の空気側）とのインターフェイス方法は、タイムステップ毎に必要なデータを授受する方法をとる。新規モジュールで計算された流体の温度、熱伝達率を熱構造材（伝熱管）に受け渡し、RELAP5（水側）で計算された熱交換量を新規モジュールが受け取る。

RELAP5（水側）では解析セルのモデル化に使用するシングルボリューム(Sv)、配管モデルに使用するパイプ(P)、複数の接続先を持つ解析セルのモデル化に使用するブランチ(Br)、圧力、温度境界条件モデルに使用するタイムデpendentボリューム(Tv)、解析セル同士を接続するシングルジャンクション(Sj)、弁モデルに使用するバルブジャンクション(Vj)、流量境界モデルに使用するタイムデpendentジャンクション(Tj)、伝熱管、構造物モデルに使用する熱構造材モデル、そして制御モデル等のコンポーネントを入力データにおいて組み合わせることにより、様々なシステムのモデル化が可能である。また新規モジュールでは放熱器の冷却方式を自然通風方式か強制通風方式のいずれかに選択することが可能である。これらの機能を用い、RELAP5（水側）及び新規モジュールの入力データ中の形状データのサイズを変更することにより試験装置の試験結果による検証結果を HTTR 水素製造システムの解析に反映させることが可能である。

3. 2 試験装置解析モデル

RELAP5（水側）及び新規モジュールで用意された種々のコンポーネントを組み合わせ、試験装置の解析モデル化を行った。試験装置における蒸気発生器及び放熱器の解析モデル図を Fig.3.1 に示す。なお、水蒸気改質法による HTTR 水素製造システムの解析では、RELAP5 及び新規モジュールを冷却システムである蒸気発生器及び放熱器の他、蒸気過熱器の解析にも適用する。このため蒸気過熱器モデルについてもあわせて示す。また本モデルの境界条件を Table 3.1 に示す。RELAP5（水側）のモデルはシングルボリューム 14 個、パイプ 4 個、ブランチ 4 個、タイムデpendentボリューム 3 個、シングルジャンクション 16 個、バルブジャンクション 5 個、タイムデpendentジャンクション 2 個、熱構造材モデル 20 個で構成されている。また新規モジュールについては伝熱管内流路と空気流路 3 個がモデル化されている。以下に各機器のモデル化概

要について示す。

(1) 蒸気発生器モデル

試験装置で採用した蒸気発生器は横置き直管式ケトル型蒸気発生器である。熱源であるヘリウムガスは管内を高速で流れ、強制対流熱伝達で水側に熱を供給する。以下に蒸気発生器のモデル化の概要を示す。なお、モデル化の詳細については付録A. 1に示す。

- ・ 蒸気発生器は大きく分けて上部プレナム部、伝熱管部、下降流領域(P060)、下部プレナム部(Br070)に分割した。
- ・ 上部プレナム部は気液分離と再循環流れの観点から気相領域(Br110)、気液境界領域(Sv100)、液相領域(Br050)に3分割した。また蒸気発生器の液面が各解析セルの境界を通過すると、数値計算上の圧力振動や流量振動を生じる恐れがあるため、気液境界領域の高さは、液面が上下した場合でも液面が気液境界領域内に収まるような高さとした。
- ・ 蒸気発生器液相の水平方向の温度分布は比較的小ないと考えられるが、ヘリウムガスの温度分布を考慮し、伝熱管水側(Sv010,012,014,020,022,024)は高温部と低温部として水平方向2分割とした。また垂直方向には水の温度分布及び熱伝達率の分布を考慮し3分割とした。
- ・ 伝熱管ヘリウムガス側は27本の伝熱管内の流れを1チャンネルでモデル化した。ヘリウムガスの出入口温度差は約300°Cと非常に大きいため、温度分布を考慮し、1チャンネルをヘリウムガスの流れ方向に10分割した。また流路断面積は27本分の値を使用した。
- ・ 伝熱管部は熱構造材モデルを使用し、10分割(ヘリウムガスの流れ方向)×3分割(水側の垂直方向)の合計30分割し、27本分の伝熱面積と等価となるような伝面係数(RELAP5での入力データ項目)を使用した。
- ・ 伝熱管水側の熱伝達式はRELAP5/MOD2で用意されている熱伝達パッケージを使用した。
- ・ ヘリウムガス側(新規モジュール)の熱伝達式は以下のDittus-Boelterの式を使用した。

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3.1)$$

- ・ ヘリウムガスは入口温度、流量、圧力を境界条件とした。
- ・ 蒸気発生器胴部には熱構造材モデルを適用し、構造材から大気への放熱と熱容量を考慮した。
- ・ 伝熱管の汚れ係数については管外(水側)のみに使用した。
- ・ ヘリウムガス側流路の入口、出口のプレナム部をモデル化し、大気への放熱とプレナム部の熱容量を考慮した。
- ・ 試験装置では蒸気発生器のヘリウムガス入口、出口温度計測点が蒸気発生器本体に設置されておらず、蒸気発生器入口ヘリウムガス温度計測点から蒸気発生器入口までの配管(約2.95m)及び蒸気発生器出口から蒸気発生器出口ヘリウムガス温度計測点までの配管(約4.8m)からの放熱を無視することができない。そのため蒸気発生器入口及び出口から各温度計測点までの配管をモデル化し、配管からの放熱を考慮し、計測点での温度を境界条件とした。
- ・ 蒸気発生器の圧力制御及び水位制御はRELAP5の制御コンポーネントを使用した。

(2) 放熱器モデル

放熱器のモデル化の概要を以下に示す。なおモデル化の詳細については付録A. 2 に示す。

- ・ 伝熱管部の管内水と管外空気はクロスフロー流れになる。管内水側フローは 41 本の伝熱管を 1 チャンネル、管外空気フローは 5 チャンネルでモデル化した。また水側の流路断面積は 41 本分の値を使用した。
- ・ 空気側の流路は入口と出口の温度差が大きいため、各チャンネルを空気の流れ方向（垂直方向）に 5 分割した。
- ・ 水側の流路については分割数を多くした場合、蒸気の凝縮が分割メッシュ境界上で生じ、数値解析上不安定な計算となることがあるため、数値解析的に安定した定常状態が得られる分割数をサーベイし、5 分割とした。
- ・ 伝熱管部は熱構造材モデルを使用し、5 分割（空気の流れ方向）× 5 分割（水側の流れ方向）の合計 25 分割とし、41 本分の伝熱面積と等価となるような伝面係数を使用した。
- ・ 热構造材は伝熱管部のみを対象として、胴部の熱容量は無視した。
- ・ 放熱器伝熱管水側の熱伝達式は RELAP5/MOD2 で用意されている熱伝達パッケージを使用した。
- ・ 伝熱管空気側(新規モジュール)の熱伝達式は以下の Jameson の式⁽²⁾ を使用した。

$$Nu = 0.092 Re^{0.723} Pr^{0.333} \quad (3.2)$$

- ・ 空気側は入口温度、流量、圧力を境界条件とした。
- ・ 空気風量は放熱器内に設置した風速計の結果をもとに算出した質量流量を用いた。測定方法の詳細は付録A. 3 に示す。
- ・ 伝熱管の汚れ係数は管内（水側）のみを使用した。
- ・ 伝熱管外側のフィンについては、フィンを含む外管の表面積と内管の表面積の面積比で空気側熱伝達率を増倍し、フィン効果をモデル化した。またフィン効率は環状フィンの式⁽³⁾ から求めた値を使用した。

(3) 蒸気過熱器モデル

蒸気過熱器は以下のようにモデル化した。なおモデルの詳細データについては付録A. 4 に示す。

- ・ 試験装置の蒸気過熱器は U 字型 2 重管式の熱交換器であるが、簡易的に対向流形の熱交換器を採用し、それぞれ直管の流路を 2 分割し、熱構造材モデルによりモデル化した伝熱管を介して熱交換を行うモデルとした。
- ・ 蒸気過熱器水側の入口、出口のプレナム部をモデル化しその容積を考慮した。
- ・ 蒸気過熱器水側の熱伝達式は RELAP5/MOD2 で用意されている熱伝達パッケージを使用した。
- ・ ヘリウムガス側(新規モジュール)の熱伝達式は Dittus-Boelter の式を使用した。

(4) その他のモデル

放熱器及び蒸気発生器に接続される水蒸気系の配管については以下のようにモデル化を行った。なお、詳細なデータについては付録A. 5 に示す。

- ・ 放熱器と蒸気発生器との接続配管は、高低差が 8m 程あるためエレベーションを考慮した

モデルとした。

- ・配管構造物は熱構造材モデルを使用し、管外表面から大気への放熱と配管の熱容量を考慮した。
- ・遮断弁はトリップバルブ、調節弁はサーボバルブを使用した。
- ・放熱器出口戻り配管からのドレンラインにあるスチームトラップは、その直前にある遮断弁 AV80(Vj381)をサーボバルブとし、開度を絞ることで模擬することとした。
- ・蒸気過熱器流量制御は RELAP5 の制御コンポーネントを使用した。

以上のようにモデル化した RELAP5 の試験装置解析モデルの入力データを付録A. 6 に示す。

Table 3.1 Boundary condition of cooling system analysis
model for RELAP5.

機器	流体	境界条件		ID
蒸気発生器	ヘリウムガス	入口温度	[K]	-
		入口圧力	[MPa]	
		入口流量	[kg/s]	
	水	入口温度	[K]	Tv200
		入口圧力	[MPa]	
放熱器	空気	入口温度	[K]	-
		入口圧力	[MPa]	
		入口流量	[kg/s]	
放熱器出口配管	水(系外放出部)	出口圧力	[MPa]	Tv385
蒸気過熱器	ヘリウムガス	入口温度	[K]	-
		入口圧力	[MPa]	
		入口流量	[kg/s]	
	水	出口圧力	[MPa]	Tv280

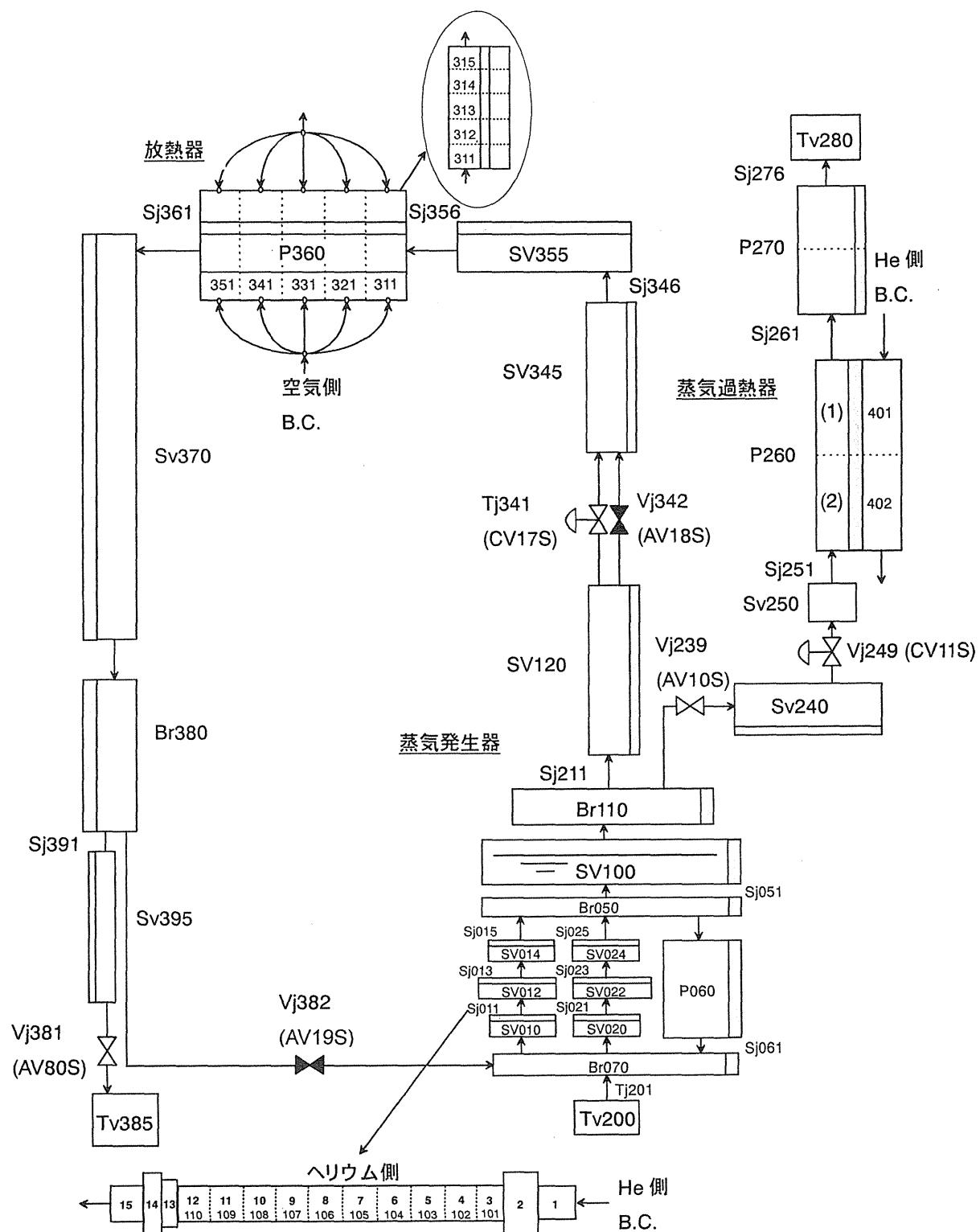


Fig.3.1 Nodalization of steam generator, radiator and steam superheater of mock-up model test facility.

4. 解析コードの検証

試験装置の試験結果を用いて、第3章に示した蒸気発生器及び放熱器モデルに関する解析コードの検証を行った。先ず、蒸気発生器単独でヘリウムガス温度制御を行う通常運転時の試験結果を用い蒸気発生器モデルの検証を行った。次いで、蒸気発生器及び放熱器でヘリウムガス温度制御を行う化学反応器負荷喪失時の運転状態を模擬した化学反応停止試験時の放熱器ライン自然循環状態のデータ（定常データ）を用い、放熱器モデルの検証を行った。その後、蒸気発生器単独での通常運転状態から蒸気発生器及び放熱器を用いる化学反応器負荷喪失時の運転状態へ切替を行った際の非定常データを用いて、非定常状態における蒸気発生器及び放熱器モデルの検証解析を行った。以下にこれらの検証解析の結果を示す。

4. 1 蒸気発生器モデルの検証

4. 1. 1 解析条件

蒸気発生器単独でヘリウムガス温度制御を行う通常運転状態として試験装置定格運転時の試験結果を用い、蒸気発生器モデルの検証を行った。試験装置の通常運転時においては、水蒸気改質器で化学反応により除熱されたヘリウムガスが冷却システムの構成機器である蒸気発生器側へと供給される。蒸気発生器は圧力制御により保有水の飽和温度を一定に保ち、その熱容量でヘリウムガスの温度変動を吸収し、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度が一定となるようにしている。蒸気発生器で製造された蒸気の一部は水蒸気改質器へ供給され、残りの蒸気により蒸気発生器の圧力制御を行っている。圧力制御に使用された蒸気は放熱器へと流れ込み、放熱器で冷やされ凝縮した水は系外へと放出される。通常運転時における冷却システムの系統模式図をFig.4.1に示す。定格運転時における以下の試験結果を蒸気発生器に関する境界条件として定常計算を行った。

(1) ヘリウムガスの定格運転時条件

蒸気発生器入口温度	546.1 °C
蒸気発生器入口圧力	4.06 MPa
蒸気発生器入口流量	0.091 kg/s

(2) 水蒸気の定格運転時条件

蒸気発生器入口（給水）温度	223.6 °C
蒸気発生器入口（給水）圧力	4.61 MPa

また、試験結果である以下の条件を解析における制御設定値とした。

蒸気発生器圧力	4.61 MPa
蒸気過熱器供給蒸気流量	0.047 kg/s

4. 1. 2 検証項目

定常状態における蒸気発生器モデルの検証項目は以下とした。

- ・蒸気発生器出口ヘリウムガス温度
- ・蒸気発生器圧力
- ・蒸気発生器液相温度

- ・蒸気発生器熱交換量
- ・蒸気発生量
- ・蒸気過熱器蒸気流量

4. 1. 3 結果及び考察

定格運転時の試験結果と定常計算結果の比較を Table 4.1 に示す。制御を行っている蒸気発生器圧力及び蒸気過熱器蒸気流量はそれぞれの制御値に静定しており、試験結果と一致していることが確認できた。蒸気発生器液相温度は、蒸気発生器圧力が試験結果と一致しているため、その飽和温度である液相温度も試験結果と一致した。

また、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度は、試験結果と比較してほぼ一致しており、蒸気発生器の熱交換量で比較した場合、試験結果と解析結果の差はわずか 0.6% であった。

蒸気発生量は機器・配管からの放熱量に影響を受け、蒸気生成に使用された熱量 Q_v は以下の式で表される。

$$Q_v = Q_{SG} - Q_o \quad (4.1)$$

ここで、 Q_{SG} は蒸気発生器の熱交換量（ヘリウムガスから蒸気発生器内の保有水が受け取る熱量）、 Q_o は機器・配管から大気への放熱量である。熱交換量の試験結果と解析結果は、ほぼ一致したので、機器・配管から大気への放熱量を検討することにより、蒸気発生量の検証を行った。解析コードの RELAP5(水側)において、構造物（蒸気発生器胴部、配管）から大気への放熱は、構造材の表面熱伝達率及び雰囲気温度を指定することによりその放熱量が計算される。このため、蒸気発生量の試験結果と解析結果が一致する表面熱伝達率について、パラメータサーベイを行った。検討の結果、構造材と大気との表面熱伝達率を $5.0\text{W/m}^2\text{K}$ とした条件において、Table 4.2 に示すように蒸気発生量の試験結果と解析結果は、ほぼ一致した。

以上より、解析結果は試験結果を良く模擬できており、本蒸気発生器モデルを用いた定常状態の解析は妥当であることが確認できた。

4. 2 定常状態における放熱器モデルの検証

4. 2. 1 解析条件

放熱器を蒸気発生器の圧力制御に用いる運転状態は化学反応器の負荷喪失時であるため、定常状態における放熱器モデルの検証として、化学反応停止試験の試験結果を用いて検証解析を行った。反応停止試験では、蒸気発生器単独でヘリウムガス温度制御を行う通常運転状態から、蒸気発生器及び放熱器でヘリウムガス温度制御を行う化学反応器負荷喪失時の運転状態への切替操作を行ったが、定常状態における放熱器モデルの検証としては、切替操作後の蒸気発生器-放熱器間で蒸気-凝縮水が安定に自然循環し、システムが定常状態にある時の試験結果を用いた。この時の冷却システムの系統模式図を Fig.4.2 に示す。試験では、①蒸気発生器入口ヘリウムガス温度が一定の条件下で、ヘリウムガスと熱交換を行う蒸気発生器保有水温度及び空気と熱交換を行う放熱器内蒸気温度を変化させることを目的として、放熱器の空気風量をパラメータとして変化させた試験（Table 4.3 中の試験 No.2～5）、②蒸気発生器保有水温度及び放熱器内蒸気温度が一定の条件下で、蒸気発生器入口ヘリウムガス温度を変化させることを目的として、水蒸気改質器

入口ヘリウムガス温度をパラメータとして変化させた試験 (Table 4.3 中の試験 No.2, 6, 7) を実施した。Table 4.4 に示す各試験での試験結果を解析の境界条件として定常計算を行った。

4. 2. 2 検証項目

2. 2. 2 に示したように、蒸気発生器-放熱器間で自然循環を行っている時には、放熱器の熱交換量が蒸気発生器圧力、保有水温度、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度、蒸気発生器熱交換量に影響を与える。このため、定常状態における放熱器モデルの検証項目は、蒸気発生器-放熱器間で自然循環を行っている状態での以下の変数とした。

- ・放熱器入口圧力
- ・放熱器出口蒸気-凝縮水温度
- ・蒸気発生器圧力
- ・蒸気発生器液相温度
- ・蒸気発生器出口ヘリウムガス温度
- ・蒸気発生器熱交換量
- ・放熱器入口蒸気流量

4. 2. 3 結果及び考察

放熱器風量を変化させた場合の放熱器熱交換量、放熱器入口圧力、放熱器出口蒸気-凝縮水温度、蒸気発生器圧力、蒸気発生器液相温度、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度、蒸気発生器熱交換量、放熱器入口蒸気流量について試験結果と解析結果との比較を Fig.4.3(a)~(h) に示す。また、放熱器の熱交換量については解析結果のみを Fig.4.3(a) に示す。解析結果と試験結果を比較すると同様の傾向を示していることが確認できた。放熱器風量が増加すると放熱器での熱交換量が増加する。これに伴い、放熱器入口圧力 (Fig.4.3(b)) 及び放熱器出口蒸気-凝縮水温度 (Fig.4.3(c)) が低下すると共に、蒸気発生器圧力 (Fig.4.3(d)) 及び蒸気発生器液相温度 (Fig.4.3(e)) も低下する。また蒸気発生器での液相温度の低下により、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度 (Fig.4.3(f)) が下降し、蒸気発生器での熱交換量 (Fig.4.3(g)) が増加する。放熱器入口蒸気流量 (Fig.4.3(h)) は、蒸気発生器での熱交換量が増加するが、圧力の減少に伴い水の蒸発潜熱が増加するため、ほぼ一定値を示した。ここで、各条件では、以下の関係が成立している。

(蒸気発生器での熱交換量) = (放熱器での熱交換量) + (機器・配管から大気への放熱量)

蒸気発生器熱交換量の解析結果は試験結果よりもわずかに大きく、その差は約 4%程度であったが、この熱交換量の違いによって、蒸気発生器圧力の解析結果は試験結果よりも約 1MPa 低い圧力を示した。そして、この圧力の差により、蒸気発生器液相温度の解析結果は試験結果よりも約 20°C 低い値を示した。このため、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度の解析結果は、同様に試験結果よりも約 17°C 低い値を示した。このように、わずかな熱交換量の差異が蒸気発生器出口ヘリウムガス温度に大きく影響を与えることが確認された。また、Fig.4.4(a)~(h) には、蒸気発生器入口ヘリウムガス温度を変化させた場合の試験結果と解析結果の比較を示す。放熱器風量を変化させた場合と同様に、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度に関する試験結果と解析結果には約 4°C ~ 約 25°C の差が確認された。

蒸気発生器出口ヘリウムガス温度評価の精度を向上させるために、試験結果を用いて放熱器熱交換性能の補正を行うこととした。空気側の熱伝達式である Jameson の式はフィン付き管群を用いた実験の結果を整理したものであるが、管群の列数について特に考察を行っていない。しかし一般的に管群の熱伝達では、最前列の管の熱伝達率は単一管の熱伝達率に等しいが、後列に行くに従い前方の管で作られた乱れの影響を受けるという結果が得られている⁽⁴⁾。試験装置の放熱器の伝熱管は 3 列の管群であるので後列での影響を考慮し、式(A.5)に示すように空気側の熱伝達係数に補正係数を使用することとした。補正係数の選定においては、検証項目として 4. 2. 2 に挙げた全ての項目を対象として、以下に示すように試験結果と解析結果の相対誤差を算出し、その 2 乗和が最小となる補正係数のパラメータサーベイを行った。

$$(相対誤差) = \{ (試験結果) - (解析結果) \} / (試験結果)$$

検討の結果、補正係数 0.77 の時において、相対誤差の 2 乗和が最小となり、試験結果と解析結果が最も一致することが分かった。補正係数に対する試験結果と解析結果の相対誤差の 2 乗和についてまとめた結果を Fig.4.5 に示す。補正係数 0.77 とした場合の各条件における解析結果を Fig.4.3 及び Fig.4.4 に示す。放熱器の空気側熱伝達係数に補正係数 0.77 を用いることにより、解析結果の各変数は試験結果と良く一致した。なお、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度の試験結果と解析結果の差は、約 1°C～約 7°C となった。

以上より、放熱器の空気側熱伝達係数に補正係数を用いることにより、解析結果は試験結果を良く模擬でき、本放熱器モデルを用いた定常状態の解析は妥当であることが確認できた。

4. 3 非定常状態における蒸気発生器及び放熱器モデルの検証

4. 3. 1 解析条件

非定常状態における蒸気発生器モデル及び放熱器モデルの検証として、定格運転時において水蒸気改質器への原料ガス供給を停止した後、放熱器を使用した系統への切り替え試験を行った化学反応停止試験 (Table 4.3 の試験 No.1) の試験結果を用いて検証解析を行った。Table 4.5 に試験で実施した通常運転時の系統 (Fig.4.1) から化学反応器の負荷喪失時の系統 (Fig.4.2) への切替操作手順を示す。本操作手順をバルブトリップ条件とし、その他の境界条件については Table 4.4 に示す試験結果を使用して非定常計算を行った。放熱器風量は試験中の風速測定から算出した結果を解析の境界条件に用いた。境界条件として用いた放熱器空気風量を Fig.4.6 に示す。解析では、4. 2. 3 で決定した放熱器の空気側熱伝達係数に関する補正係数 0.77 を使用した。

4. 3. 2 検証項目

非定常時の蒸気発生器モデル及び放熱器モデルの検証項目は、4. 2. 2 に示す項目と同様とした。

4. 3. 3 解析結果

蒸気発生器出口ヘリウムガス温度の試験結果と解析結果の比較、及び境界条件として用いた蒸気発生器入口ヘリウムガス温度を Fig.4.7(a) に示す。境界条件である蒸気発生器入口ヘリウムガス温度は、原料ガスの遮断後から徐々に上昇し、約 4000 秒後に約 250°C 上昇し、ほぼ定常状態に達した。蒸気発生器出口ヘリウムガス温度については、後述する。

蒸気発生器での熱交換量の試験結果と解析結果の比較を Fig.4.7(b)に示す。蒸気発生器熱交換量は、蒸気発生器入口ヘリウムガス温度の上昇に伴い増加した。解析結果は、試験結果と同様の傾向で上昇していることが確認できた。

蒸気発生器圧力及び放熱器圧力の試験結果と解析結果の比較を Fig.4.7(c)に示す。610秒～1176秒における系統切替操作による自然循環開始時及びその後の定常状態に至るまでの圧力変化の解析結果は、試験結果と同様の傾向を示していることが確認できた。自然循環開始直後には蒸気発生器－放熱器の閉サイクルの形成によって、高圧（4.6MPa以上）の蒸気発生器圧力と低圧（通常運転時大気圧）の放熱器圧力が均圧するため、蒸気発生器圧力は低下する。自然循環開始直後における蒸気発生器圧力の最小値は、試験結果で4.26MPa、解析結果で4.35MPaとほぼ一致しており、自然循環開始時の冷却システム気相部の容積を良く模擬できている。蒸気発生器圧力に関して、定常状態に達するまでの試験結果と解析結果の差の最大値は約0.37MPaであり、定常状態での差とほぼ同じであった。

蒸気発生器内液相温度の試験結果と解析結果を Fig.4.7(d)に示す。蒸気発生器の液相温度は蒸気発生器の圧力の飽和温度を示しているので、蒸気発生器圧力と同様に、解析結果は自然循環開始時及びその後の定常状態に至るまでの液相温度の変化を良く模擬できた。

放熱器出口蒸気－凝縮水温度の試験結果と解析結果を Fig.4.7(e)に示す。試験結果は、放熱器入口遮断弁開操作（1146秒）により温度が急激に上昇したが、解析結果はこの温度上昇の傾向を良く模擬できた。

放熱器入口蒸気流量の試験結果と解析結果の比較を Fig.4.7(f)に示す。試験結果は、1146秒の放熱器入口遮断弁開操作によって急激に増加し、その後すぐに減少したが、解析結果も同様に流量がピークを示す傾向を示した。また、その後の定常状態に至るまでの解析結果も、試験結果と同様の傾向を示し、試験結果と良く一致することが確認できた。

Fig.4.7(a)に示す蒸気発生器出口ヘリウムガス温度に関しては、自然循環開始時及びその後の定常状態に至るまでの解析及び試験結果の変動傾向は、各々の蒸気発生器圧力変化、すなわち蒸気発生器液相温度の変動傾向と同様であり、解析結果の変動傾向は試験結果とほぼ一致した。定常状態に達するまでに、蒸気発生器出口ヘリウムガス温度は試験結果で-1.2℃～+2.0℃、解析結果で+8.4℃変動した。試験結果と解析結果の変動幅の差は最大で約6℃の差があったが、この温度差は試験結果と解析結果の蒸気発生器圧力の差によるものであるため、蒸気発生器圧力と同様に、定常状態に達した後の試験結果と解析結果との温度差とほぼ同じであった。

以上より、非定常状態の解析結果は、定常状態に達するまでの圧力、温度、流量等に関する試験結果の変動傾向を良く模擬できており、幾何形状、水、ヘリウムガス及び空気の伝熱特性、大気への熱損失等の解析モデルの妥当性を確認することができた。

Table 4.1 Comparison between experimental and numerical analysis results at rated operation.

		試験結果	解析結果	備考
蒸気発生器ヘリウムガス入口温度	[°C]	546.1	546.1	境界条件
蒸気発生器ヘリウムガス出口温度	[°C]	262.5	262.5	
ヘリウムガス流量	[kg/s]	0.091	0.091	解析境界条件
蒸気発生器圧力	[MPa]	4.61	4.61	制御設定値
蒸気発生器液相温度	[°C]	258.7	258.9	
蒸気発生器熱交換量	[kW]	128.6	127.9	
蒸気発生量	[kg/s]	0.0613	0.0618	
蒸気過熱器蒸気流量	[kg/s]	0.047	0.047	制御設定値

Table 4.2 Correlation between heat transfer coefficient of heat structure surface and vapor generation.

構造材と大気との表面熱伝達率 [W/m ² K]	蒸気発生量(解析結果) [kg/s]	試験結果との相対誤差 [%]
4.0	0.0636	3.75
5.0	0.0618	0.816
6.0	0.0600	2.121

Table 4.3 Test conditions.

試験 No.	水蒸気改質器 入口温度[°C]	放熱器風量 [kg/s]	備考
1	880	—	切り替え試験
2		1.511	圧力静定試 験
3		1.806	
4		2.354	
5		3.027	
6	840	1.596	圧力静定試 験
7	800	1.467	

Table 4.4 Boundary condition of numerical analysis for Run No.1~No.7.

機器	流体	境界条件		試験 No.						
				1	2	3	4	5	6	7
蒸気発生器	ヘリウム ガス	入口温度	[°C]	Fig.4.7 参照			792.2		758.3	724
		入口圧力	[MPa]	4.06						
		入口流量	[kg/s]	0.091						
放熱器	空気	入口温度	[K]	10.8	11.8	11	10.8	10.8	11.8	
		入口圧力	[MPa]	0.1013						
		入口流量	[kg/s]	Fig.4.6 参照	1.51	1.81	2.35	3.03	1.596	1.467

Table 4.5 Experimental procedure for Run No.1.

経過時間 [s]	操作詳細
0	原料ガス停止操作開始
610	蒸気過熱器入口遮断弁(AV10S)全閉
621	放熱器出口スチームトラップ入口遮断弁(AV80S)全閉
640	蒸気発生器入口遮断弁(AV8S)全閉
1146	放熱器入口遮断弁(AV18S)全開
1176	放熱器出口遮断弁(AV19S)全開

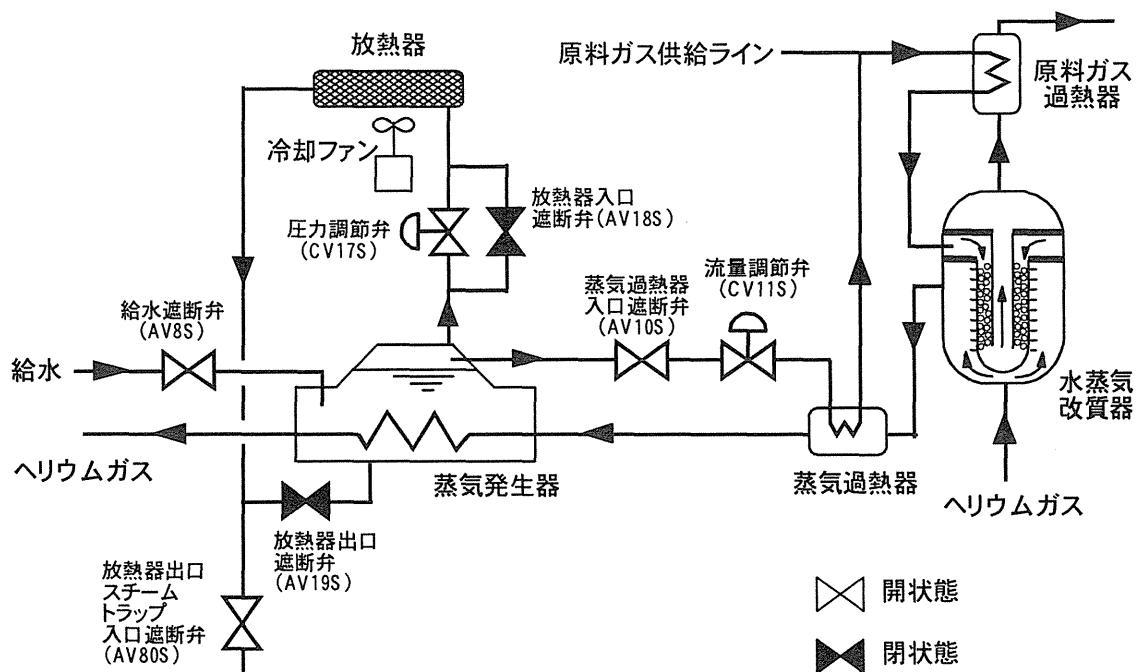


Fig.4.1 Schematic flow diagram of steam generator, radiator, steam superheater and steam reformer with valves at normal operation.

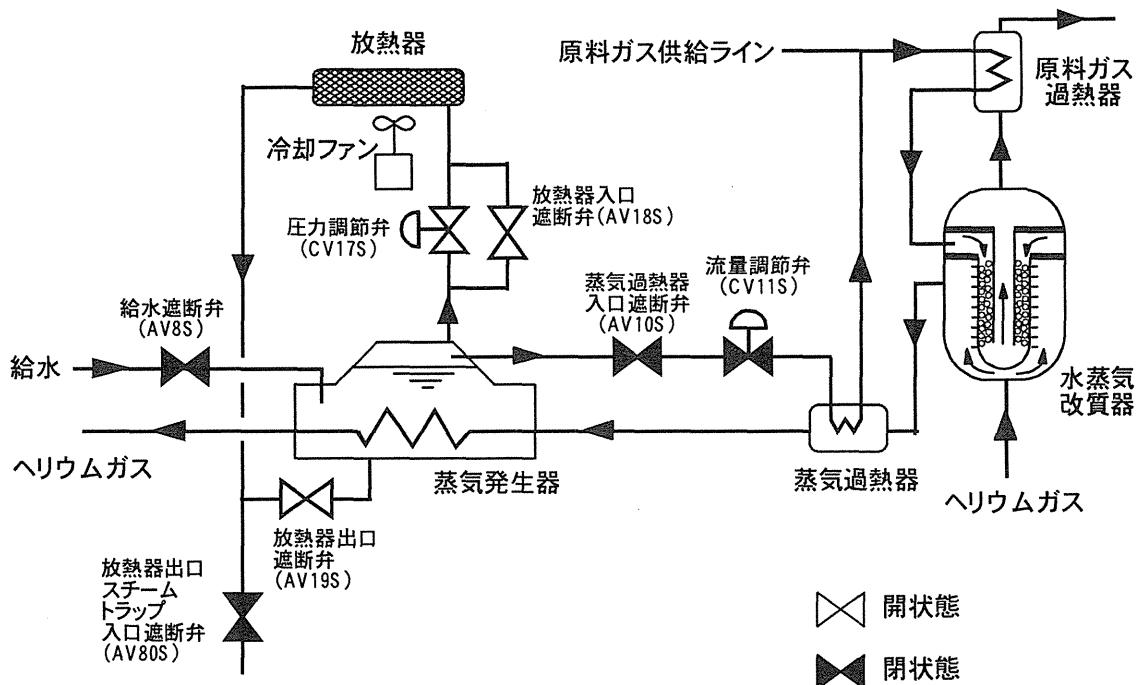


Fig.4.2 Schematic flow diagram of steam generator, radiator, steam superheater and steam reformer with valves at loss of chemical reaction test.

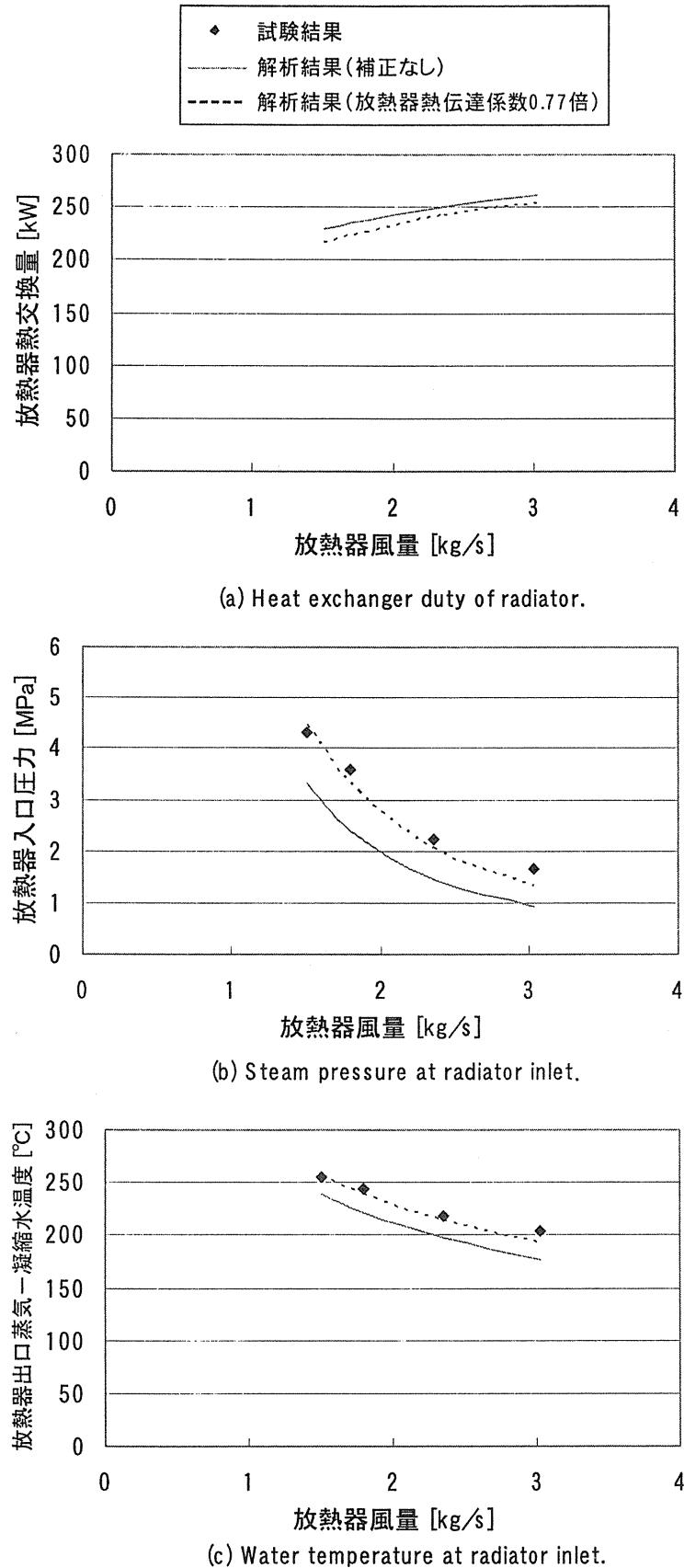


Fig.4.3 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.2,3,4 and 5.

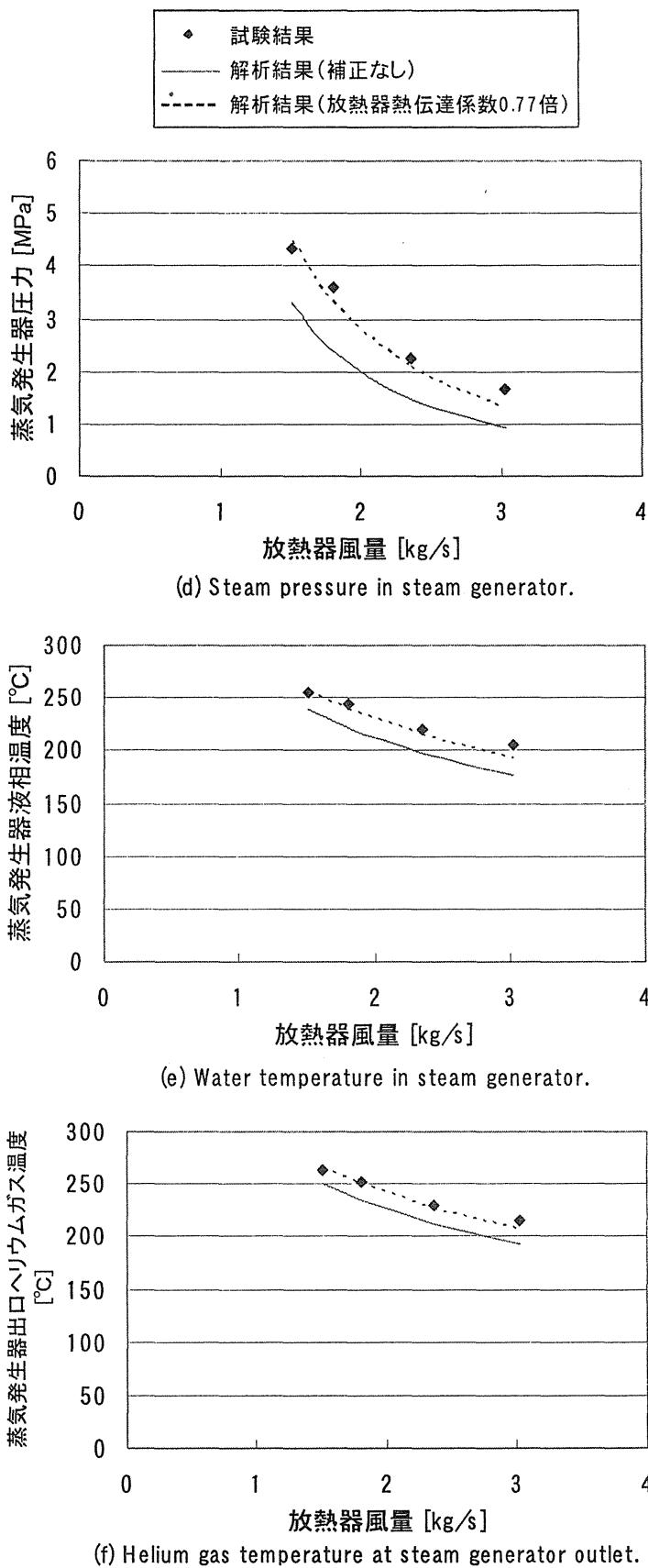
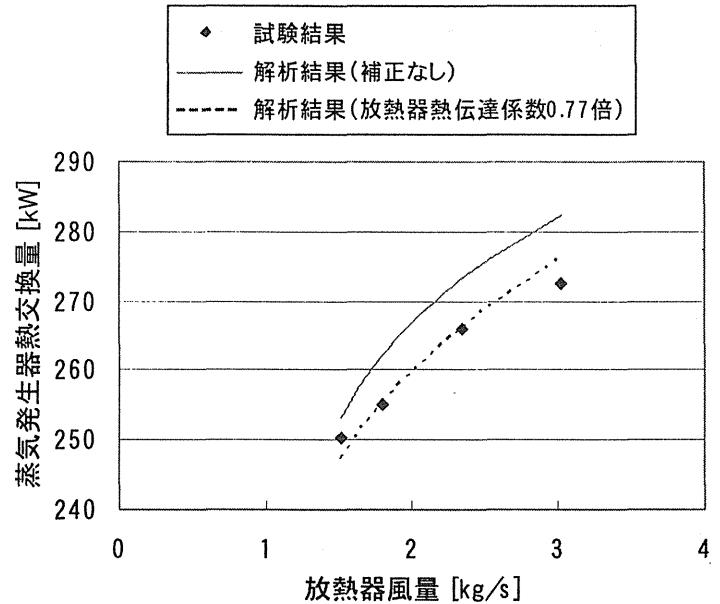
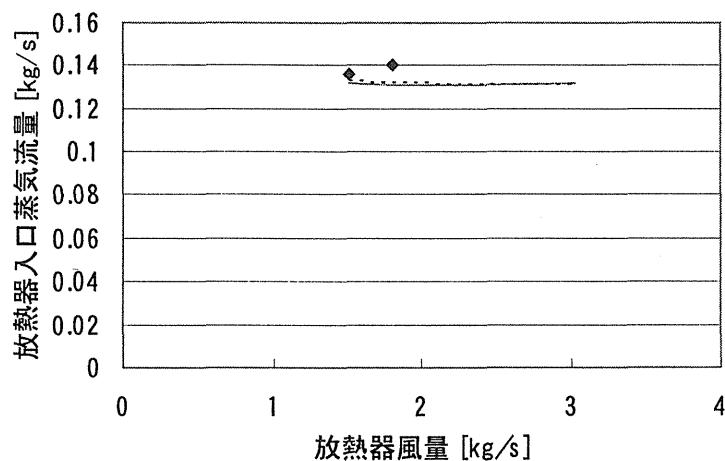


Fig.4.3 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.2,3,4 and 5.



(g) Heat exchange duty of steam generator.



(h) Steam flow rate at radiator inlet.

Fig.4.3 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.2,3,4 and 5.

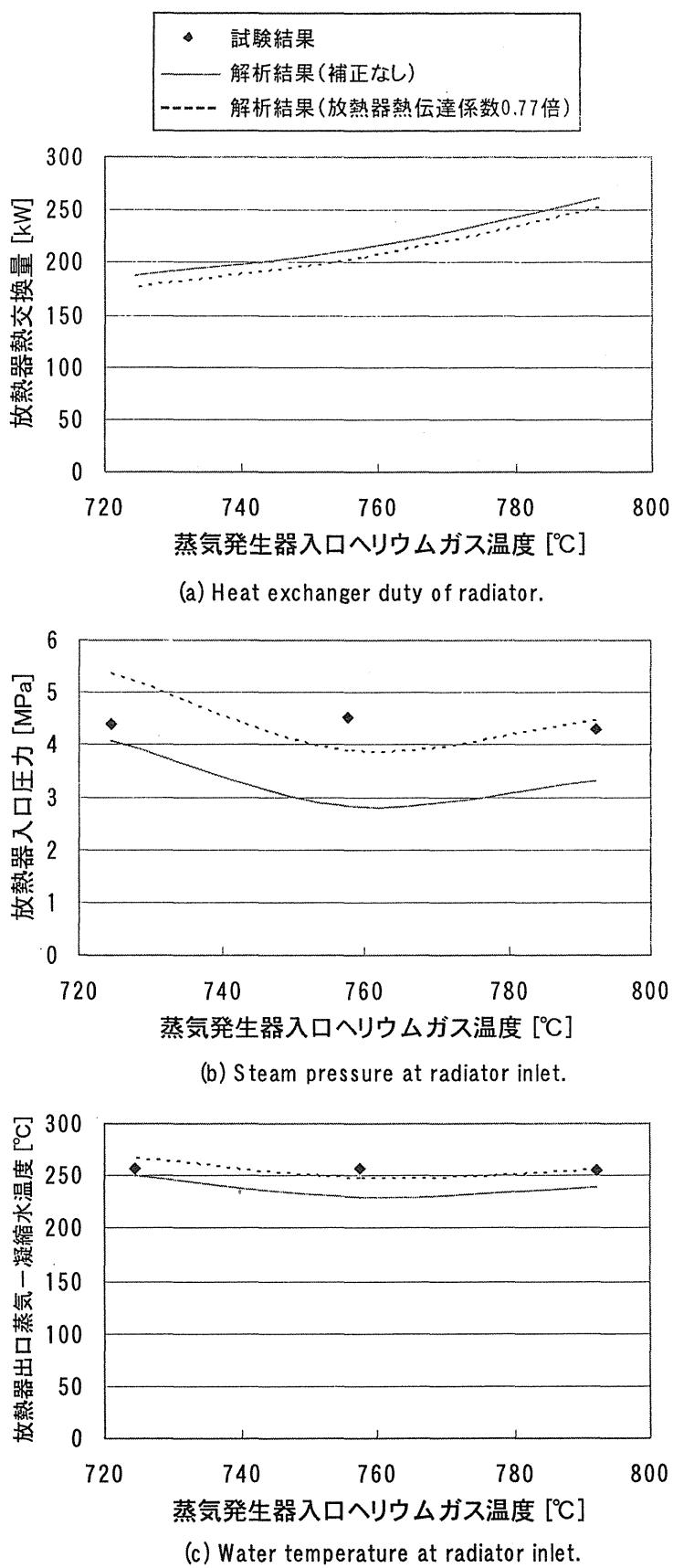


Fig.4.4 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.2,6 and 7.

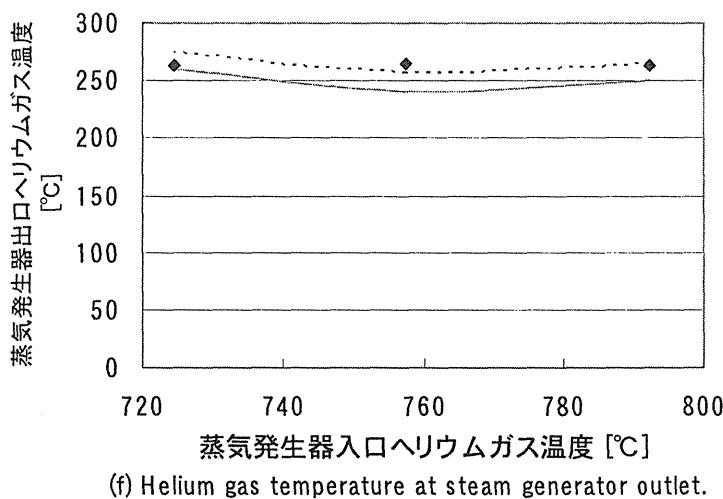
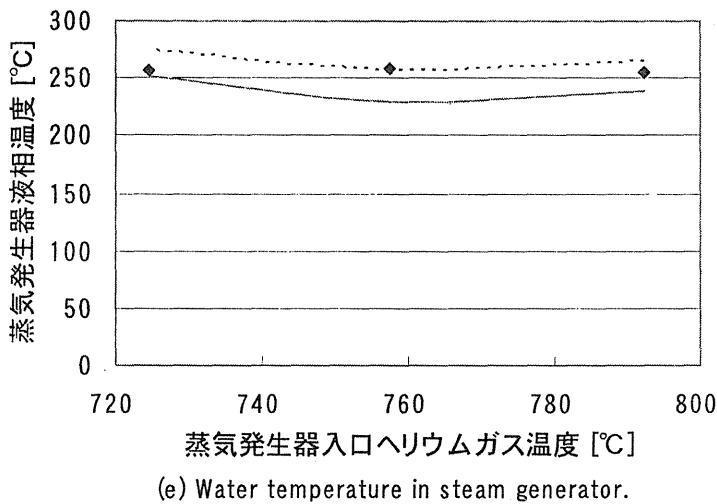
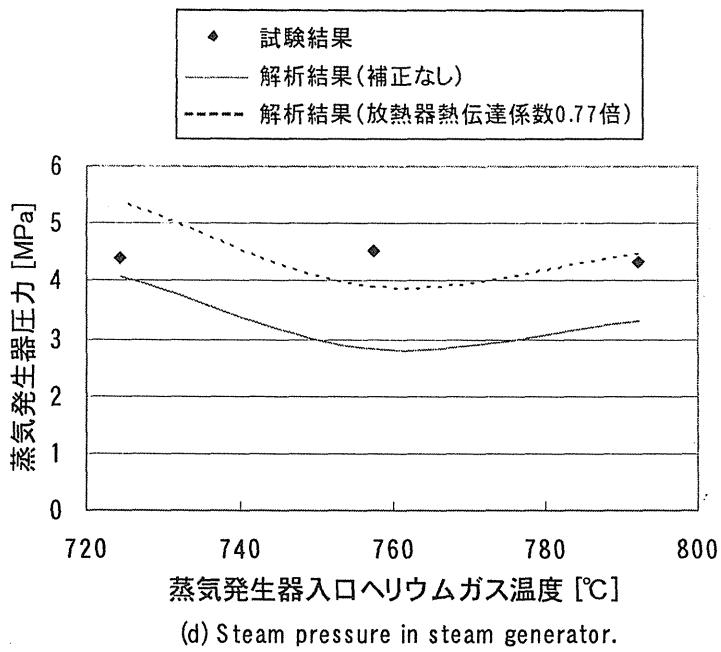
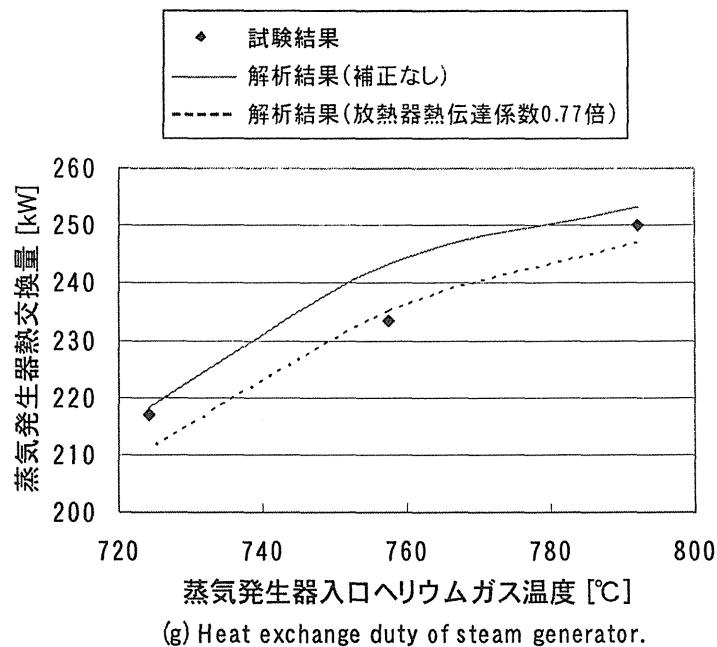
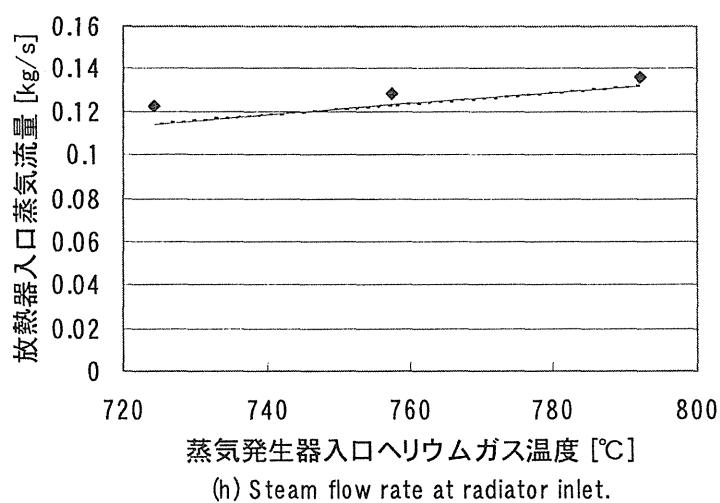


Fig.4.4 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.2,6 and 7.



(g) Heat exchange duty of steam generator.



(h) Steam flow rate at radiator inlet.

Fig.4.4 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.2,6 and 7.

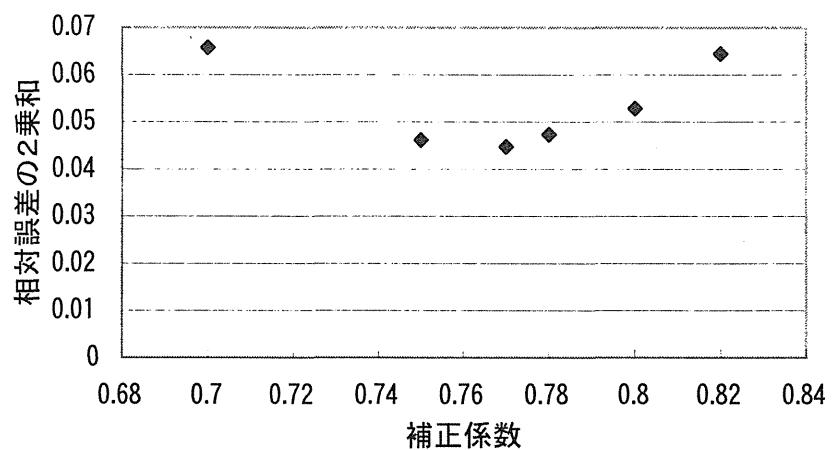


Fig.4.5 Correlation between sum of square relative error and correction factor.

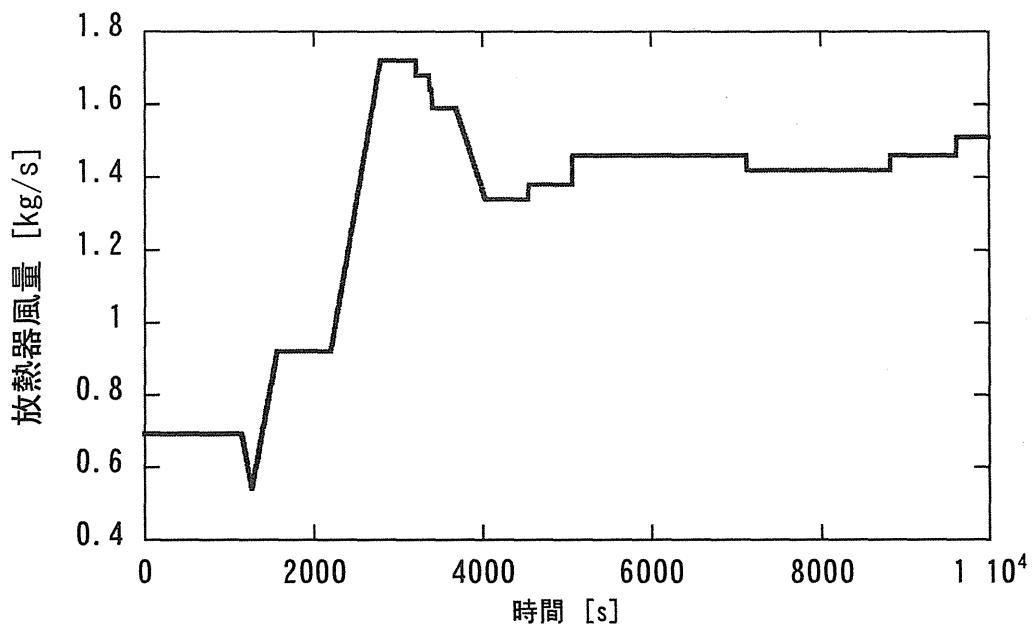
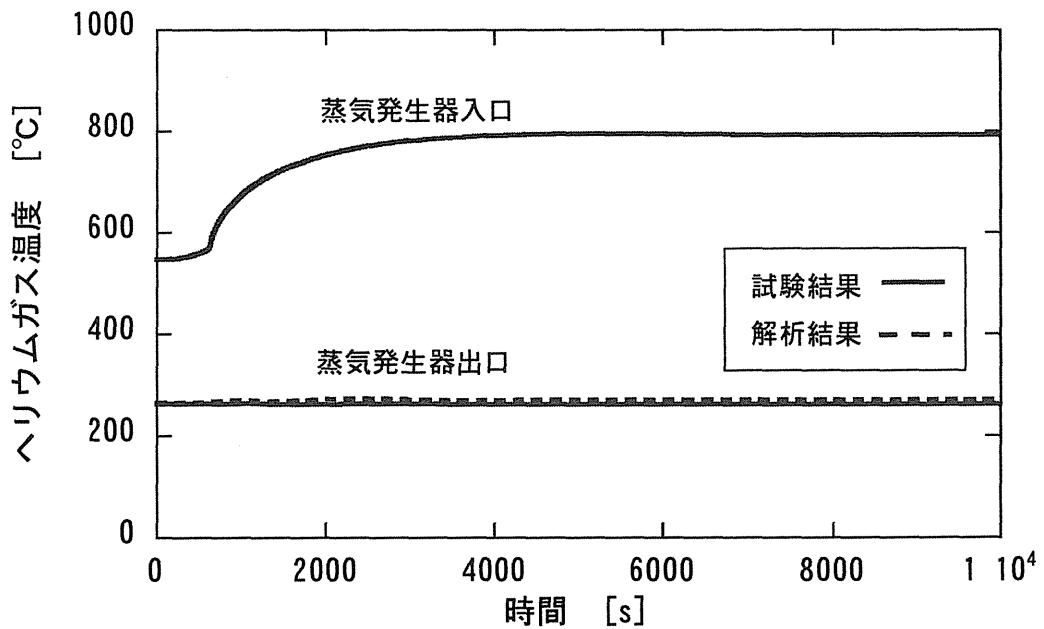
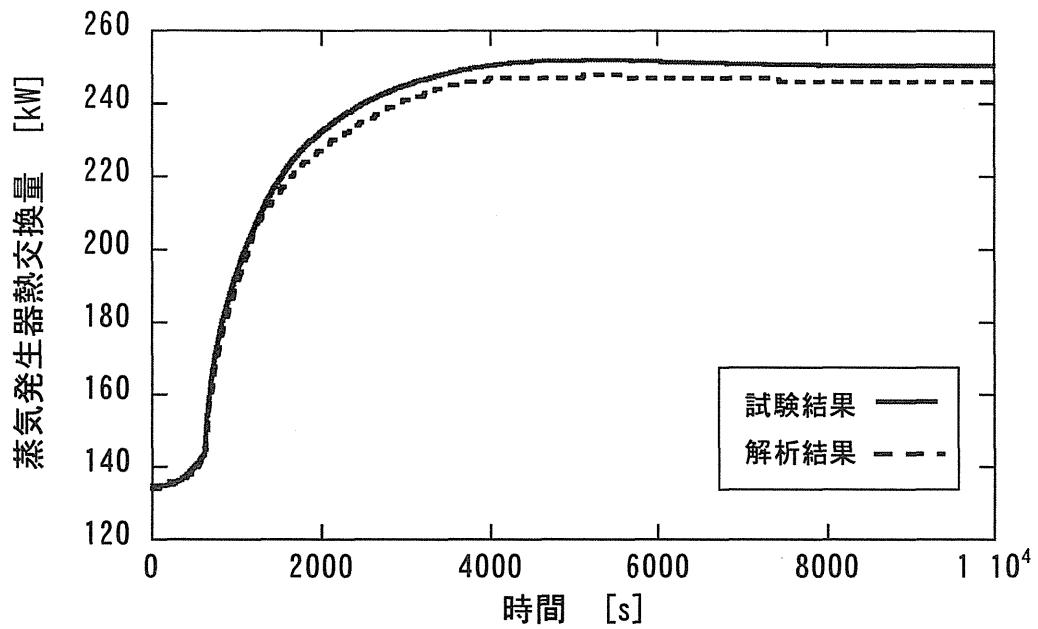


Fig.4.6 Boundary condition of cooling air of numerical analysis for Run No.1.

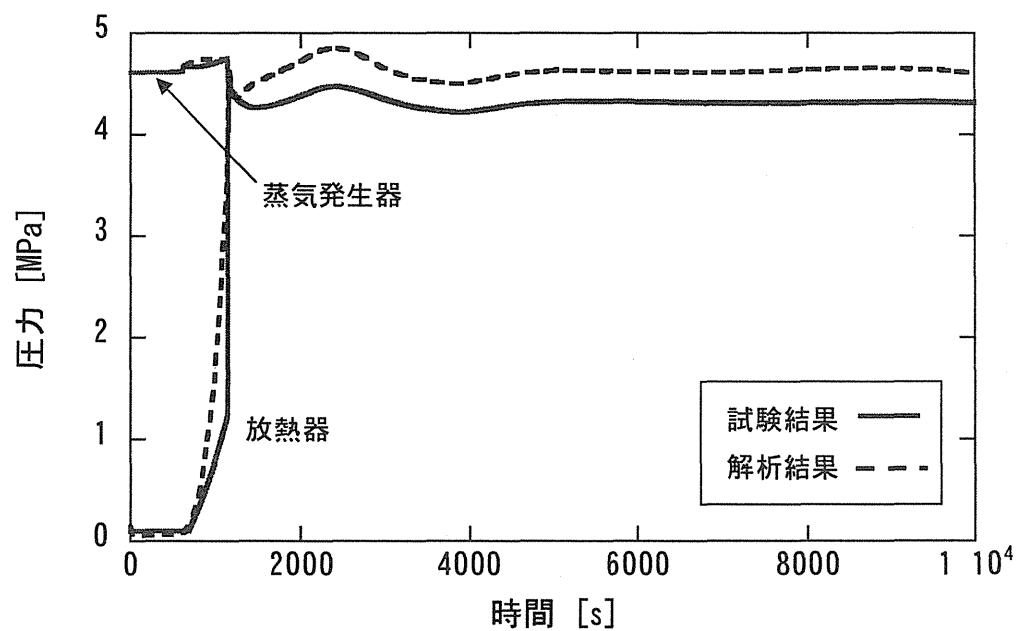


(a) Helium gas temperature at steam generator inlet and outlet

Fig.4.7 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.1.

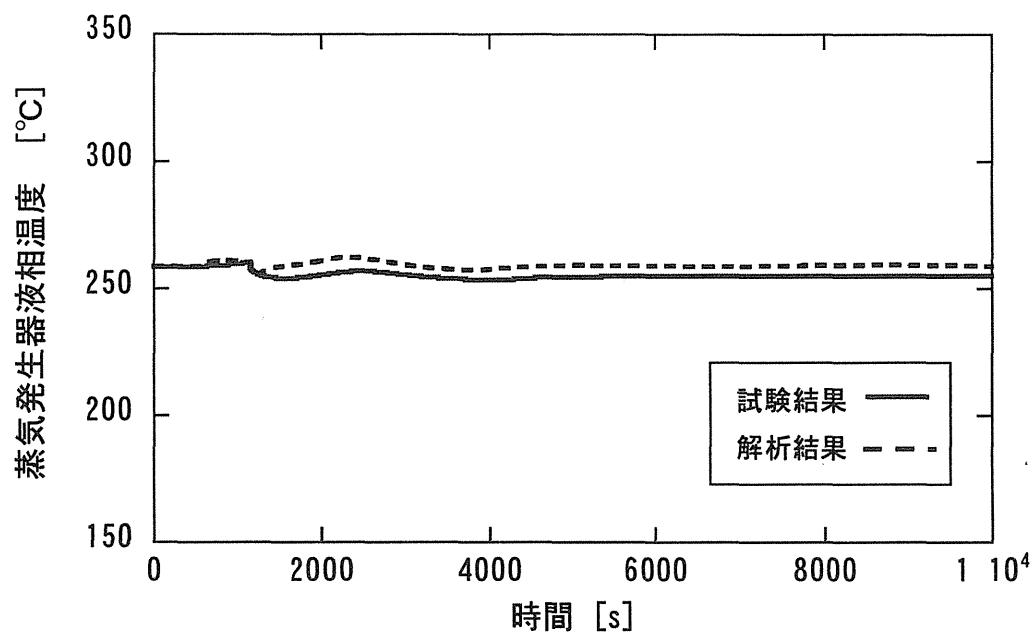


(b) Heat exchanger duty at steam generator.

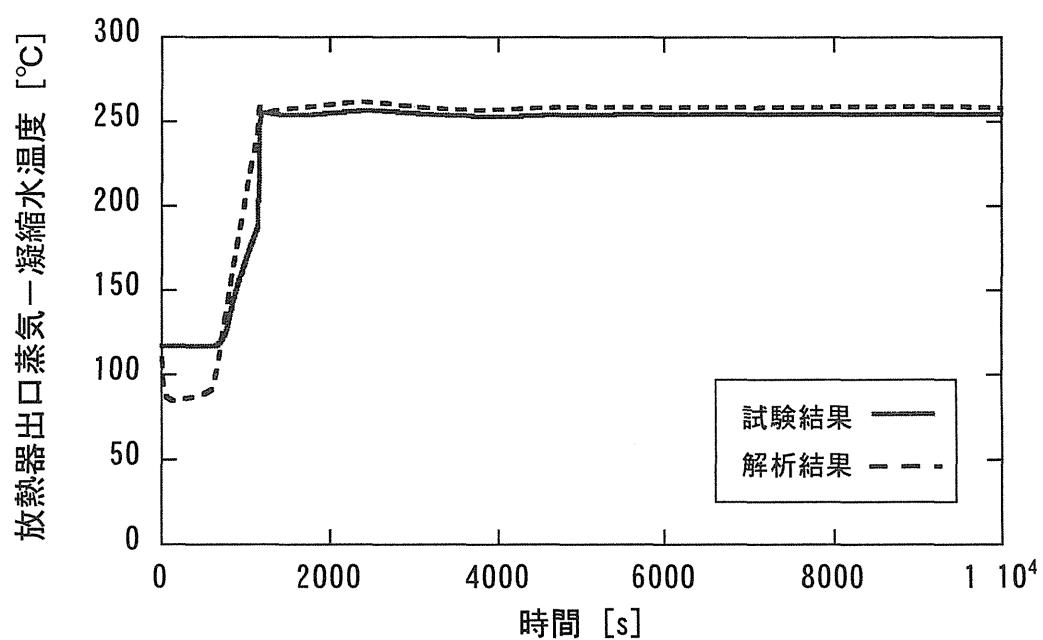


(c) Steam pressure in steam generator and radiator.

Fig.4.7 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.1.

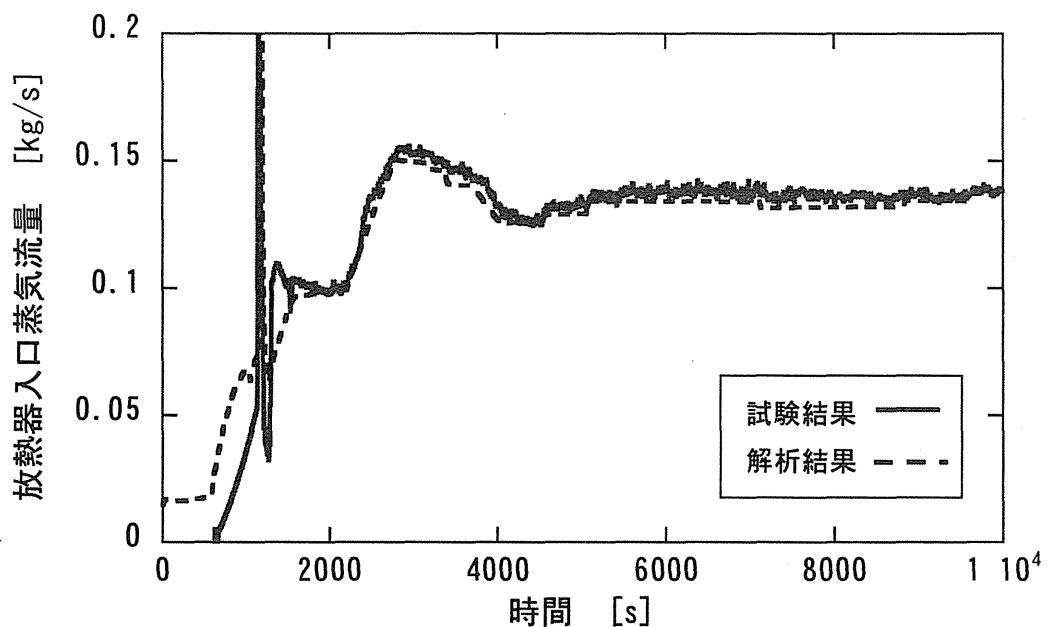


(d) Water temperature in steam generator.



(e) Water temperature at radiator outlet.

Fig.4.7 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.1.



(f) Steam flow rate at radiator inlet.

Fig.4.7 Comparison between experimental and numerical analysis results for Run No.1.

5. 結 言

原研は、原子炉と水素製造設備の接続技術開発として、水素製造設備化学反応器の負荷変動に起因する2次ヘリウムガス温度変動による原子炉スクラムを回避するため、蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システムによって2次ヘリウムガス温度変動を緩和することを提案し、実規模単一反応管試験及び動特性解析コードの開発を進めてきた。本冷却システムに関する動特性解析コード検証のため、実規模単一反応管試験装置による試験結果を用いて放熱器伝熱管の管外の空気の熱伝達特性を明らかにし、本動特性解析コードによる検証解析を行った結果、解析は冷却システムの圧力、温度、流量及び熱交換量等の試験結果を良く模擬できた。この事から本解析コードの検証を行うことができた。

謝 辞

試験装置試験運転の実施に当たり、加藤道雄、林光二、藤崎勝夫、会田秀樹、高田昌二、清水明、森崎徳浩、榎明裕、塙博美、米川日出男の各氏及び原子力エンジニアリング（株）照沼孝志、川邊勝、柴田一之、中島利幸、滑川勝徳の各氏に多大なるご協力をいただいた。ここに深く謝意を表する。

参考文献

- (1) 前田, 西原, 佐藤, 稲垣 : to be published in JAERI-Tech (2005), "HTTR 水素製造システム 動特性解析コード N-HYPAC の開発 (受託研究)" (2005).
- (2) Jameson L. S. and Schenectady N. Y. : Trans. ASME, 67, 633-642 (1945).
- (3) Gardner K. A. : Trans. ASME, 67, 621 (1945).
- (4) Grimson E.D. : Trans. ASME, 59, 583 (1937).

付録

A. 1 蒸気発生器モデル入力データ

(1) 脊部インベントリ

試験装置の蒸気発生器脇側インベントリを以下の要領で算出し、水側の入力データを作成した。

- 1) 蒸気発生器解析セルを Fig.A.1 のように分割し、各解析セルの高さ H を決定する。
- 2) 分割した解析セルの断面積 S を以下の式で算出する。

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{H}{r} \right) \quad (\text{A.1})$$

$$S = \frac{1}{2} r^2 (\theta - \sin \theta) \quad (\text{A.2})$$

ここで、 θ は Fig.A.1 中に示す扇形の中心角、 r は扇形の半径である。

- 3) 分割した解析セルのインベントリ V を以下の式で算出する。

$$V = K \cdot L \cdot S \quad (\text{A.3})$$

ここで、 L : 蒸気発生器脇部代表長さ($=3.5\text{ m}$)、 K : 補正係数である。また実際の蒸気発生器は断面一様な形状をしていないため、インベントリの計算値の和(3.59m^3)と実際の蒸気発生器のインベントリ(2.28m^3)の比である 0.64 を補正係数に用いた。算出した結果を Table A.1 に示す。また算出した結果から作成した蒸気発生器水側の入力データを Table A.2 に示す。

(2) 伝熱管伝熱面積のモデル化

RELAP5 の入力データでは熱交換器伝熱管の伝熱面積を伝熱管の形状データ（管外径、管内径）と伝面係数という項目で表す。RELAP5 では熱構造材モデルの形状により伝面係数の定義が変わってくるが、蒸気発生器の伝熱管は円柱モデルであるため、伝面係数は伝熱管の有効長さと等価である。しかし本解析モデルの蒸気発生器モデルは複数本の伝熱管を一本でモデル化するため、実機の伝熱管外径を用いた上で、伝熱面積を実機と合わせるような伝面係数を設定した。伝熱管部の熱構造材 1 分割セル当たりの伝面係数は、(実機の伝熱管本数 × 長さ ÷ 分割数)で表すことができる。蒸気発生器の伝熱管の熱構造材モデルは 30 分割であるため、伝面係数は $2.97 (=27 \times 3.3 / 30)$ とした。

(3) 伝熱管水側汚れ係数

RELAP5 では伝熱管の汚れを熱構造材モデルのひとつと考え、熱伝導率と汚れの厚みを入力データで与えることにより汚れ係数をモデル化する。蒸気発生器では水側である伝熱管外側に汚れを考慮し、一般的にボイラの設計で利用されている汚れ係数の値 0.00018 程度を目安に汚れ厚さ、及び汚れ熱伝導率を設定した。汚れ係数 r_f は以下の式で表すことができる。

$$r_f = \frac{t_f}{\lambda_f} \quad (\text{A.4})$$

ここで t_f : 汚れ厚さ(m)、 λ_f : 汚れ熱伝導率(W/m K)である。上式を用いて汚れ厚さとして 6.0×10^{-4} m、汚れ熱伝導率として 3.5 W/m K を設定した。なお、この時の汚れ係数は 0.000171 である。

(4) 蒸気発生器ヘリウムガス流路プレナム部モデル

蒸気発生器のヘリウムガス流路出入口のプレナム部は、ヘリウムガス流路モデルの入口にセル 1 個、またプレナム構造が不均一なため出口側には 2 個のセルを追加した。入口のプレナム部の構造材材質には新規モジュール材料データベースの Cr-Mo 鋼、出口のプレナム部の構造材材質にはカオウールを使用した。また入口プレナム部外側の管外熱貫流率は、大気との熱伝達率が一般的に使用されている値(5W/m² K)となるような値として 1.11 W/m²K、出口プレナム部外側の管外熱貫流率は同様に、出口プレナム部 1 (蒸気発生器側) 2.78 W/m² K 、出口プレナム部 2 (出口配管側) 4.53 W/m² K を採用した。

(5) ヘリウムガス温度計測点から蒸気発生器出入口 (プレナム部) までの配管モデル

蒸気発生器ヘリウムガス入口及び出口から温度計測点までの配管モデルとして、入口プレナム部前にセル 1 個、出口プレナム部後にセル 1 個を追加した。配管材質は新規モジュール材料データベースのカオウールを使用した。入口配管外側の管外熱貫流率は大気との熱伝達率が一般的に使用されている値(5W/m² K)となるような値として入口配管 0.45 W/m² K を使用した。また出口配管については配管サポートからの放熱等も考慮し、定格運転時の蒸気発生器出口ヘリウムガス温度の試験結果を再現できるような熱貫流率の値として 0.69 W/m² K を採用した。蒸気発生器ヘリウムガス側の入力データを Table A.3 に示す。

(6) 蒸気発生器圧力、水位制御モデル

蒸気発生器の圧力制御及び水位制御モデルは RELAP5 で制御モデル用に使用される和算コンポーネント(sum)、積算コンポーネント(integral)を組み合わせて使用した。蒸気発生器圧力制御モデルの詳細、蒸気発生器水位制御モデルの詳細をそれぞれ Fig.A.2、Fig.A.3 に示す。

A. 2 放熱器モデル入力データ

(1) 放熱器構造のモデル化

放熱器の水側の入力データを Table A.4 に示す。

(2) フィン部のモデル化

フィン表面での熱伝達率は以下の式で表せる。

$$\alpha_{air} = \frac{\lambda}{De} Nu \frac{A_0 + \varphi A_f}{A_B} K \quad (A.5)$$

$$A_0 = \pi d_o \times (pitch - t_f) \quad (A.6)$$

$$A_f = 2 \times \frac{\pi}{4} (d_f^2 - d_o^2) + \pi d_o \times t_f \quad (A.7)$$

ここで α_{air} : フィン効果を含んだ管外熱伝達率、 λ : 伝熱管熱伝導率、 De : 等価直径($=0.04$ m)、 Nu : ヌッセルト数、 A_0 : フィン根本部面積($=0.07012$ m²/pitch)、 A_f : フィン部面積($=1.8083$

$m^2/pitch$ 、 A_B : 伝熱管外側面積($=A_o+A_f = 1.87842 \text{ m}^2/pitch$)、pitch : フィンピッチ、 t_f : フィン肉厚($=0.00028\text{m}$)、 d_o : 伝熱管外径($=0.0254\text{m}$)、 d_f : フィン外径($=0.0572\text{m}$)、 K : 補正係数、 ϕ : フィン効率である。Nu は式(3.2)で求めることができる。 ϕ は以下の環状フィンのフィン効率の式⁽³⁾で算出でき、0.86 となった。

$$\phi = \frac{2}{u_b \left[1 - \left(\frac{u_e}{u_b} \right)^2 \right] \left[\frac{I_1(u_b) - \beta K_1(u_b)}{I_0(u_b) + \beta K_0(u_b)} \right]} \quad (\text{A.8})$$

$$\beta = \frac{I_1(u_e)}{K_1(u_e)} \quad (\text{A.9})$$

$$u_b = \frac{H \sqrt{\alpha_{air} / \lambda \left(\frac{t_f}{2} \right)}}{\frac{x_e}{x_b} - 1} \quad (\text{A.10})$$

$$u_e = u_b \left(\frac{x_e}{x_b} \right) \quad (\text{A.11})$$

ここで H : フィン高さ($=0.0159\text{m}$)、 x_b : 伝熱管外半径($=d_o/2 = 0.0127\text{m}$)、 x_e : フィン外半径($=d_f/2 = 0.0286\text{m}$)、 $I_n(x)$: n 次の第1種変形ベッセル関数、 $K_n(x)$: n 次の第2種変形ベッセル関数である。

また空気流路の流速、等価直径は以下の式で求めることができる。

$$v = \frac{W_{air}}{A_s} \times \frac{1}{\rho_{air}} \quad (\text{A.12})$$

$$A_s = W \times L - W \times \left(d_o + \frac{2H \cdot t_f}{pitch} \right) \times n \quad (\text{A.13})$$

$$D_e = 2 \frac{A_o + A_f}{\pi l} \quad (\text{A.14})$$

$$l = 4H + 2pitch \quad (\text{A.15})$$

ここで v : 空気流速(m/s)、 W_{air} : 空気質量流量(kg/s)、 ρ_{air} : 空気密度(kg/m^3)、 A_s : 空気流路断面積($=0.6\text{m}^2$)、 W : 空気流路幅(横)($=1.175\text{m}$)、 L : 空気流路幅(縦)($=0.92\text{m}$)、 n : 投影面伝熱管本数($=14$ 本)、である。フィン部詳細図、及び空気流路投影図を Fig.A.4 に示す。また空気側の入力データを Table A.5 に示す。

(3) フィン面積の考慮

RELAP5 ではフィン付き伝熱管のオプションが存在しない。そのため新規モジュールで計算された空気側の熱伝達率を RELAP5 水側に受け渡す際に、以下の式に従いフィン付き伝熱管と裸管の伝熱面積の比を用いることにより、フィン面積を考慮することとした。

$$\alpha_{air}^* = \alpha_{air} \cdot \frac{A_o + A_f}{\pi d_o} \quad (\text{A.16})$$

ここで α_{air}^* : フィン面積を考慮した空気側熱伝達率(W/m² K)

(4) 伝熱面積のモデル化

放熱器の伝面係数は(実機の伝熱管本数×長さ÷分割数)で表すことができる。放熱器の伝熱管本数は41本、熱構造材の分割数は25なので伝面係数は1.9090(=41×1.164/25)とした。

(5) 伝熱管水側汚れ係数

伝熱管の汚れ係数は蒸気発生器と同じであるが、汚れ厚みは水側である管内側に付加する。

A. 3 放熱器空気質量流量

RELAP5新規モジュール放熱器モデルでは入口部の空気温度、質量流量、圧力を境界条件としているため、空気の質量流量に関する入力データが必要である。このため以下に示すように放熱器の空気風速を測定し、質量流量に関する入力データ化を行った。

(1) 測定方法

放熱器入口で風速を測定し、この結果から質量流量を求ることとした。外気からの風の影響を避けるため、放熱器入口部にダクトを設置し風速を測定した。風速計は熱線式風速計を使用した。ダクト及び熱線式風速計の設置図をFig.A.5に示す。熱線式風速計4本を各々4本の支持棒先端に固定し、ダクト上部(放熱器入口部)に空けられた4箇所(90度間隔)の測定口からダクト内に挿入した。径方向の測定位置は、支持棒の挿入深さを変えることにより変更可能であり、測定点数はダクト内の風速分布を考慮し、風速計毎にダクト中心からダクト壁までの400mmに対して35mm間隔の各10点及びダクト中心位置の合計41点とした。風速測定は、放熱器ルーバー開度を25%とし、放熱器伝熱管温度が常温の時、及び伝熱管温度が高温(約200~250°C)となる化学反応停止試験時に、ファン回転数を一定とした定常状態で行った。計測値サンプリング間隔は1秒、各計測点での計測時間は約1時間とした。

(2) 測定結果及び入力データ化

試験結果から得られた各セルの平均風速と断面積から放熱器に流入する空気の体積流量を求め、雰囲気温度での空気密度を用いて質量流量を算出した。Fig.A.6に放熱器ルーバー開度25%における放熱器ファン回転数と空気の質量流量との関係を示す。放熱器の伝熱管が常温及び高温である場合の結果を比較すると、質量流量に差があることが確認されたため、以下に示すように各々の条件における質量流量とファン回転数の関係式を作成した。

$$\text{放熱器伝熱管温度常温時: } W_{air} = 0.00624 + 0.00681 \cdot n_f \quad (\text{A.17})$$

$$\text{放熱器伝熱管温度高温時: } W_{air} = -0.127 + 0.00664 \cdot n_f \quad (\text{A.18})$$

ここで、 n_f : 放熱器ファン回転数(rpm)である。

化学反応停止試験開始時の非定常状態では、放熱器伝熱管温度が常温から約250°Cの高温に上昇するとともに、蒸気発生器の圧力調整のためにファン回転数の調整を行った。このため、化学反応停止試験開始時の試験結果(試験No.1)を用いた非定常状態における検証

解析では、放熱器伝熱管温度が常温から急激に上昇する時刻（試験開始後 1153 秒）以前は常温での関係式、それ以降は高温での関係式を使用し、試験時のファン回転数から空気の質量流量を算出し、境界条件とした (Fig.4.6)。

A. 4 蒸気過熱器モデル入力データ

(1) 水側モデル

U字型 2重管式の内管を直管でモデル化し、形状データ（管長、等価直径等）を合わせた。直管部はパイプ(P260)を使用した。入口、出口のプレナム部もそれぞれパイプ(P250,P270)を使用した。蒸気過熱器水側モデルの入力データを Table A.6 に示す。

(2) ヘリウムガス側モデル

U字型 2重管式の外管を直管でモデル化し、形状データ（管長、等価直径等）を合わせた。ヘリウムガス側モデルの入力データを Table A.7 に示す。

(3) 伝熱面積のモデル化

蒸気過熱器の伝面係数は(伝熱管本数×長さ÷分割数)で表すことができる。蒸気過熱器の熱構造材の分割数は 2 なので伝面係数は $2.5 (=1 \times 5.0 / 2)$ とした。

A. 5 その他のモデル

(1) 構造物放熱モデル

RELAP5 では構造物の放熱（蒸気発生器胴部、配管からの放熱）は熱構造材モデルを用い、形状データと熱構造材外表面と大気との熱伝達率、雰囲気温度、伝面係数を入力データで指定することで放熱量を設定する。大気との熱伝達率については 4 章での検討から $5\text{W/m}^2\text{ K}$ と設定し、雰囲気温度は 10°C とした。伝面係数は熱構造材モデルの形状により設定が違う。蒸気発生器胴部はモデル形状を直方体モデルとしているため、伝面係数は伝熱面積、配管については円柱モデルであるため、伝面係数は伝面長さとした。

Table A.8 に熱構造材モデルの入力データを示す。

(2) 弁モデル

遮断弁はトリップバルブ、調節弁はサーボバルブを採用した。トリップバルブとはトリップ時刻(ある指定した時刻)に弁の開閉を行う弁であり、本モデルではそれぞれの遮断弁の開閉時刻をトリップ時刻と指定し、それぞれの遮断弁がそのトリップ時刻に開閉を行うよう設定した。サーボバルブは制御モデルを使用する場合に使用される弁であり、通常運転時に水蒸気の流量制御を行う CV11S についてはサーボバルブを採用した。弁に関する入力データを Table A.9 に示す。また入力データとして用いた CV11S (解析モデル中の Vj249) CV 特性を Table A.10 に示す。

(3) スチームトラップのモデル化

放熱器出口戻りラインにあるスチームトラップは RELAP5 で用意されているコンポーネントではモデル化できない。そのためスチームトラップ手前にある遮断弁 AV80S (解析モデル Vj381) をサーボバルブとし、その開度を微開(0.1)とし、通常運転時には常に微少流量が系外へと放出されるような設定とすることでスチームトラップを模擬した。

(4) 蒸気過熱器流量制御モデル

蒸気過熱器の流量制御モデルは、RELAP5 で制御モデル用に使用される比例積分コンポーネント(prop-int)を使用した。蒸気過熱器流量制御モデルの詳細を Fig.A.7 に示す。

A. 6. 1 RELAP5 (水側) 入力データ例

```
*****
**
** RELAP5/MOD2-HSG
** HTTR - SG (WATER & HE) ANALYSIS
**
= OUTPILE SG+AC+SH    B5 add HeatSlab+SG+AC+SH 03.2.20
**
*****  

*      CONTROL DATA  

*****  

*  

100    NEW      TRANSNT  

101    RUN  

*101    INP-CHK  

102    SI       SI  

*103    1536          * RESTART NO.  

105    30.0     40.0  

*  

*      END TIME   MIN.   MAX.   FLAG  MINOR  MAJOR  RESTART  

201    1800.    1.0D-6  0.002  00003  500    4000    4000  

202    2000.    1.0D-6  0.001  00003  500    4000    4000  

203    3500.    1.0D-6  0.002  00003  1000   4000    4000  

204    40000.   1.0D-6  0.005  00003  1000   4000    4000  

*****  

*      MINOR EDIT VARIABLE  

*****  

*-----MINOR EDIT REQUESTS-----  

*cmk SH steam outlet inter-face data <== fix-input=indispensable data!!!
0000301    MFLOWJ    276000000  *  

0000302    TEMPG     270010000  *  

0000303    P         270010000  *  

*cmk end  

311    CNTRLVAR  001          * DETECTED FLUID LEVEL SG (mm)  

312    CNTRLVAR  002          * FULID VOLUME OF SG-UPPLENUM (-)
```

332 MFLOWJ 276000000 * *
 343 MFLOWJ 201000000 * FLOW *
 344 MFLOWJ 211000000 * FLOW *
 346 MFLOWJ 249000000 * FLOW *
 354 P 110010000 * *
 355 P 270010000 * *
 * *
 * ***** END OF MINOR EDIT VARIABLE *
 ****=
 * TRIP CONTROL DATA *
 ****=
 * *
 ** VR.CO PRM RLRT VR.CO PRM ADD.CNST LATCH *
 401 TIME 0 GE NULL 0 0.0 L *
 402 TIME 0 GE NULL 0 4200. L * AV80S F *
 403 TIME 0 GE NULL 0 4209. L * AV10S F *
 404 TIME 0 GE NULL 0 4227. L * AV 8S F feed-W *
 405 TIME 0 GE NULL 0 4241. L * AV18S T *
 406 TIME 0 GE NULL 0 4277. L * AV19S T *
 407 TIME 0 GE NULL 0 100000. L * *
 * add A2
 408 P 345010000 LT P 100010000 0.0 N * Pac < Psg *
 * LOGICAL TRIP
 *
 601 -402 OR -402 N * AV80S T
 602 -403 OR -403 N * AV10S T
 603 -404 OR -404 N * AV 8S T
 * add A3
 604 408 AND -405 N * CV17S T
 * *
 * ***** END OF TRIP DATA ***** *
 ****=
 * HYDRAULIC COMPONENT DESCRIPTION *
 ****=
 ****=
 * 200 : TEMP B.C. *
 ****=
 2000000 BC200 TMDPVOL *

2000101 1.0 0.0 1.0D+7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00 *
 2000200 003 * PRESS TEMP *
 2000201 0.0 4.61+06 502.4 *
 2000202 3600.0 4.61+06 502.4 *
 * *

 * 201 : SG FEED WATER B.C. *

 2010000 BC201 TMDPJUN *
 2010101 200000000 070000000 0.0 *
 2010200 1 603 CNTRLVAR 740 *
 * surch variable F.FLOW G.FLOW VEL *
 2010201 -1.0 0. 0. 0.0 *
 2010202 0. 0. 0. 0.0 *
 2010203 1. 1. 0. 0.0 *
 2010204 100. 100. 0. 0.0 *
 2010205 10000. 10000. 0. 0.0 *
 2010206 1.E+10 1.E+10 0. 0.0 *

 * 341 : TJ341 *

 **4
 3410000 TJ341 TMDPJUN *
 3410101 120010000 345000000 0.0 *
 *3410200 1 401 CNTRLVAR 620
 ** add A2
 *3410200 1 408 CNTRLVAR 620
 * add A3
 3410200 1 604 CNTRLVAR 620
 * surch variable F.FLOW G.FLOW VEL *
 3410201 -1.0 0. 0. 0.0 *
 3410202 0. 0. 0. 0.0 *
 3410203 1. 0. 1. 0.0 *
 3410204 100. 0. 100. 0.0 *
 3410205 10000. 0. 10000. 0.0 *
 3410206 1.E+10 0. 1.E+10 0.0 *

 * 070 : BCEV070 *

0700000 BCEV070 BRANCH *

0700001 2 1 *

0700101 0.0 0.15 0.18 0.0 90.0 0.15 2.0-05 0.0 00 *

0700200 002 4.61+06 0.0 *

0701101 070010000 010000000 0.0 0.686 0.686 00000 *

0702101 070010000 020000000 0.0 0.686 0.686 00000 *

0701201 2. 0.0 0.0 *

0702201 2. 0.0 0.0 *

*

* 010 : SV010 *

0100000 SV010 SNGLVOL *

0100101 0.156 0.07 0.0 0.0 90.0 0.07 2.0-05 0.0 00 *

* PRESS QUALE *

0100200 002 4.61+06 0.01 *

*

* 020 : SV020 *

0200000 SV020 SNGLVOL *

0200101 0.156 0.07 0.0 0.0 90.0 0.07 2.0-05 0.0 00 *

* PRESS QUALE *

0200200 002 4.61+06 0.01 *

*

* 011 : SJ011 *

0110000 SJ011 SNGLJUN *

0110101 010010000 012000000 0.0 1.371 1.371 00000 *

0110201 1 2. 0.033 0.0 *

*

* 021 : SJ021 *

0210000 SJ021 SNGLJUN *

0210101 020010000 022000000 0.0 1.371 1.371 00000 *

0210201 1 2. 0.033 0.0 *
 * *

 * 012 : SV012 *

 0120000 SV012 SNGLVOL *
 0120101 0.156 0.07 0.0 0.0 90.0 0.07 2.0-05 0.0 00 *
 * PRESS QUALE *
 0120200 002 4.61+06 0.01 *
 * *

 * 022 : SV022 *

 0220000 SV022 SNGLVOL *
 0220101 0.156 0.07 0.0 0.0 90.0 0.07 2.0-05 0.0 00 *
 * PRESS QUALE *
 0220200 002 4.61+06 0.01 *
 * *

 * 013 : SJ013 *

 0130000 SJ013 SNGLJUN *
 0130101 012010000 014000000 0.0 1.371 1.371 00000 *
 0130201 1 2.0 0.033 0.0 *
 * *

 * 023 : SJ023 *

 0230000 SJ023 SNGLJUN *
 0230101 022010000 024000000 0.0 1.371 1.371 00000 *
 0230201 1 2.0 0.033 0.0 *
 * *

 * 014 : SV014 *

 0140000 SV014 SNGLVOL *
 0140101 0.156 0.07 0.0 0.0 90.0 0.07 2.0-05 0.0 00 *
 * PRESS QUALE *

0140200 002 4.61+06 0.01 *

*

* 024 : SV024 *

0240000 SV024 SNGLVOL *

0240101 0.156 0.07 0.0 0.0 90.0 0.07 2.0-05 0.0 00 *

* PRESS QUALE *

0240200 002 4.61+06 0.01 *

*

* 015 : SJ015 *

0150000 SJ015 SNGLJUN *

0150101 014010000 050000000 0.0 0.686 0.686 00000 *

0150201 1 2.0 0.033 0.0 *

*

* 025 : SJ025 *

0250000 SJ025 SNGLJUN *

0250101 024010000 050000000 0.0 0.686 0.686 00000 *

0250201 1 2.0 0.033 0.0 *

*

* 050 : BCEV050 *

0500000 BCEV050 BRANCH *

0500001 1 1 *

0500101 0.0 0.1 0.25 0.0 90.0 0.1 2.0-05 0.0 00 *

0500200 002 4.61+06 0.01 *

0501101 050010000 100000000 0.0 0.0 0.0 00000 *

0501201 0.0 0.0664 0.0 *

*

* 100 : SV100 *

1000000 SV100 SNGLVOL *

1000101 0.0 0.59 1.36 0.0 90.0 0.59 2.0-05 0.0 00 *
 * PRESS QUALE=INITIAL FLUID LEVEL DEFINED *
 1000200 002 4.61+06 0.033 *
 * *

 * 110 : BR110 *

 1100000 BR110 BRANCH *
 1100001 1 1 *
 1100101 0. 0.1 0.25 0.0 90.0 0.1 2.0-05 0.0 00 *
 * PRESS QUALE *
 1100200 002 4.52+06 1.0 *
 1101101 100010000 110000000 0.0 0. 0. 00000 *
 1101201 0. 0.0664 0.0 *
 * *

 * 051 : SJ051 *

 0510000 SJ051 SNGLJUN *
 0510101 050000000 060000000 0.0 0.0 0.0 00000 *
 0510201 1 4.0 0.0 0.0 *
 * *

 * 060 : DOWN COMER *

 0600000 DC060 PIPE *
 0600001 2 *
 0600101 0.0 2 *
 0600201 0.0 1 *
 0600301 0.105 2 *
 0600401 0.185 2 *
 0600501 0.0 2 *
 0600601 -90.0 2 *
 0600701 -0.105 2 *
 0600801 2.0-05 0.0 2 *
 0600901 0.0 0.0 1 *
 0601001 00 2 *
 0601101 00000 1 *

0601201	002	4.61+06	0.0	0.0	0.0	0.0	1	*
0601202	002	4.61+06	0.0	0.0	0.0	0.0	2	*
0601300	1							*
0601301	4.0	0.0	0.0	1				*
*								*

*	061	: SJ061						*

0610000	SJ061	SNGLJUN						*
0610101	060010000	070010000	0.0	0.0	0.0	00000		*
0610201	1	4.0	0.0	0.0				*
*								*

*	SH							*

**2								
*	239	: VJ239 (AV10S)						*

2390000	VJ239	VALVE						*
2390101	110010000	240000000	0.0	3.5	3.5	00100	1.0	1.0
2390201	1	0.0	0.00	0.0				*
2390300	TRPVLV							*
2390301	602							
*								

*	240	: SV240 SH INLET PIPE						*

2400000	SV240	SNGLVOL						*
2400101	0.00049	8.0	0.0	0.0	0.0	2.0D-5	0.025	00 *
*		PRESS	QUALE					*
2400200	002	4.61+06	1.0					*
*								

*	249	: VJ249(CV11S)						*

2490000	VJ249	VALVE						
2490101	240010000	250000000	0.00038	0.1	0.1	00000		
2490201	1	0.0	0.047	0.0				

2490300 SRVVLV

2490301	804	001	
2490401	0.0	1.E-6	1.E-6
2490402	0.025	0.07	0.07
2490403	0.1	0.11	0.11
2490404	0.2	0.17	0.17
2490405	0.3	0.25	0.25
2490406	0.4	0.37	0.37
2490407	0.5	0.55	0.55
2490408	0.6	0.80	0.80
2490409	0.7	1.16	1.16
2490410	0.8	1.71	1.71
2490411	0.9	2.52	2.52
2490412	1.0	3.80	3.80

*

* 250 : SV250 SH INLET HEADER *

2500000 SV250 SNGLVOL *

2500101 0.0638 0.37 0.0 0.0 0.0 0.0 2.0D-5 0.285 00 *

* PRESS QUALE *

2500200 002 4.61+06 1.0 *

*

* 251 : SJ251 *

2510000 SJ251 SNGLJUN *

2510101 250010000 260000000 0.0 0.5 1.0 00000 *

2510201 1 0. 0.047 0.0 *

*

* 260 : SH TUBE *

2600000 PI260 PIPE *

2600001 2 *

2600101 0.00027 2 *

2600201 0.0 1 *

2600301 5.77 2 * min vol tube wo length*2bai <= for anntei-keisan

2600401	0.0	2		*				
2600501	0.0	2		*				
2600601	0.0	2		*				
2600701	0.	2		*				
2600801	2.0-05	0.01840	2	*				
2600901	0.24	0.24	1	*				
2601001	00	2		*				
2601101	00000	1		*				
2601201	003	4.5D+6	607.5	0.0	0.0	0.0	2	*
2601300	1							*
2601301	0.	0.047	0.0	1				*
*								*

*	261	: SJ261						*

2610000	SJ261	SNGLJUN						*
2610101	260010000	270000000	0.0	1.0	0.5	00000		*
2610201	1	0.	0.047	0.0				*
*								*

*	270	: SH OUTLET PIPE						*

2700000	P1270	PIPE						*
2700001	2							*
2700101	0.0638	1						*
2700102	0.00049	2						*
2700201	0.0	1						*
2700301	0.37	1						*
2700302	38.	2						*
2700401	0.0	2						*
2700501	0.0	2						*
2700601	0.0	1						*
2700602	0.0	2						*
2700701	0.	1						*
2700702	0.	2						*
2700801	2.0-05	0.285	1					*
2700802	2.0-05	0.0025	2					*
2700901	0.5	1.0	1					*

2701001 00 2 *
 2701101 00000 1. *
 2701201 003 4.6D+6 678. 0.0 0.0 0.0 1 *
 2701202 003 4.4D+6 678. 0.0 0.0 0.0 2 *
 2701300 1 *
 2701301 0.0 0.047 0.0 1 *
 * *

 * 271 : SJ276 *

 2760000 SJ276 SNGLJUN *
 2760101 270010000 280000000 0.0 14. 14. 00000 *
 2760201 1 0. 0.047 0.0 *
 * *

 * 280 : TEMP B.C. *

 2800000 BC280 TMDPVOL *
 2800101 10.0 0.0 1.0+07 0.0 0.0 0.0 0.0 0.00 00 *
 2800200 003 * PRESS TEMP. *
 2800201 0.0 4.20D+6 678. *
 2800202 3600.0 4.20D+6 678. *
 * *

 * AC ****

 * 211 : SJ211 *

 2110000 SJ211 SNGLJUN
 2110101 110010000 120000000 0.0 1.0 0.5 00000 *
 2110201 1 0.0 0.0232 0.0 *
 * *

 * 120 : SV120 A/C INLET PIPE 1 *

 1200000 SV120 SNGLVOL *
 1200101 0.00741 9.0 0.0 0.0 90.0 1.74 2.0D-5 0.0971 00 *

1200200 002 4.61+06 1.0 *

*

**2

* 342 : VJ342 (AV18S) *

3420000 VJ342 VALVE *

3420101 120010000 345000000 0.0074 5.0 5.0 00100 1.0 1.0 *

3420201 1 0.0 0.00 0.0 *

3420300 TRPVLV *

3420301 405

*

**2 340=>345

* 345 : SV345 A/C INLET PIPE 2 *

3450000 SV345 SNGLVAL *

3450101 0.00741 9.0 0.0 0.0 90.0 5.86 2.0D-5 0.0971 00 *

3450200 002 4.61+06 1.0 *

*

**2 342=>346

* 346 : SJ346 *

3460000 SJ346 SNGLJUN

**2 340=>345

3460101 345010000 355000000 0.0 4.48 4.48 00000 *

3460201 1 0.0 0.0232 0.0 *

*

* 355 : SV355 A/C INLET PIPE 2 *

3550000 SV355 SNGLVAL *

3550101 0.00741 3.0 0.0 0.0 -45. -0.5 2.0D-5 0.0971 00 *

*

PRESS QUALE

3550200 002 4.61+06 1.0 *

*

```
*****
* 356 : SJ356 *
*****
3560000 SJ356 SNGLJUN *
3560101 355010000 360000000 0.0      1.0      0.5      20000   *
3560201 1          0.0      0.0232    0.0      * *
*****
* 360 : A/C TUBE *
*****
3600000 PI360 PIPE *
3600001 5          * *
3600101 0.01314   5          * *
3600201 0.0        4          * *
3600301 0.233     5          * *
3600401 0.0        5          * *
3600501 0.0        5          * *
3600601 0.0        5          * *
3600701 0.          5          * *
3600801 2.0D-5    0.0202    5          * *
3600901 0.          0.          4          * *
3601001 00         5          * *
3601101 20000     4          * *
3601201 002        4.61+06  0.01      0.0      0.0      0.0      1      *
3601202 002        4.61+06  0.01      0.0      0.0      0.0      2      *
3601203 002        4.61+06  0.005     0.0      0.0      0.0      3      *
3601204 002        4.61+06  0.002     0.0      0.0      0.0      4      *
3601205 002        4.61+06  0.0      0.0      0.0      0.0      5      *
3601300 1          * *
3601301 0.0232    0.0      0.0      4          * *
*****
* 361 : SJ361 *
*****
3610000 SJ361 SNGLJUN *
3610101 360010000 370000000 0.0      0.5      1.0      20000   *
3610201 1          0.0232    0.0      0.0      * *
*****
```

```
*****
* 370 : SV370 A/C OUTLET PIPE1 *
*****
3700000 SV370 SNGLVOL *
3700101 0.003048 9.0      0.0      0.0 -90. -6.20 2.0D-5 0.0623 00 *
*          PRESS   TEMP. *
3700200 003      4.61+06 300.0 *
3700200 003      4.61+06 300.0 *
*
*****
* 380 : BR380 *
*****
3800000 BR380 BRANCH *
3800001 1       1 *
3800101 0.003048 9.0      0.0      0.0 -90. -2.05 2.0D-5 0.0623 00 *
3800200 003      4.61+06 300.0 *
3801101 370010000 380000000 0.0      6.12      6.12      20000 *
3801201 0.0232   0.0      0.0 *
*
*****
* 395 : SV395 A/C OUTLET PIPE3 *
*****
3950000 SV395 SNGLVOL *
3950101 0.002324 22.7     0.0      0.0 -90. -8.09 2.0D-5 0.0272 00 *
*          PRESS   TEMP. *
3950200 003      0.33+06 403.0 *
*
*****
* 391 : SJ391 *
*****
3910000 SJ391 SNGLJUN *
3910101 380010000 395000000 0.0      1.5      1.5      00000 *
3910201 1       0.041    0.0      0.0 *
*
*****
* 381 : VJ381(AV80S) *
*****
3810000 VJ381 VALVE
```

3810101 395010000 385000000 0.000581 0.1 0.1 00000 *B1'

3810201 1 0.0 0.010 0.0

3810300 SRVVLV

3810301 811 001

3810401 0.0 1.E-6 1.E-6

3810402 0.025 0.07 0.07

3810403 0.1 0.11 0.11

3810404 0.2 0.17 0.17

3810405 0.3 0.25 0.25

3810406 0.4 0.37 0.37

3810407 0.5 0.55 0.55

3810408 0.6 0.80 0.80

3810409 0.7 1.16 1.16

3810410 0.8 1.71 1.71

3810411 0.9 2.52 2.52

3810412 1.0 3.80 3.80

*

**2

* 385 : TEMP B.C. *

3850000 BC385 TMDPVOL *

3850101 10.0 0.0 1.0D+7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.00 00 *

* * PRESS TEMP. *

3850201 0.0 0.12D+6 300. *kenshou7 B1' *

3850202 360000. 0.12D+6 300. *kenshou7 B1' *

* 390 : TEMP B.C. *

3900000 BC390 TMDPVOL *

3900101 10.0 0.0 1.0D+7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.00 00 *

3900200 003 * PRESS TEMP. *

3900201 0.0 0.1D+6 283. *

3900202 360000. 0.1D+6 283. *

*

**2

* 382 : VJ382 (AV19S) *

3820000 VJ382 VALVE *

* 0.003048 SV380->BR380 mi

** zeta zanteiti !

* SV380 --> BR380 !

3820101 380010000 070000000 0.003048 6.2 999. 00100 1.0 1.0 *

3820201 1 0.0 0.0 0.0 *

3820300 TRPVLV *

3820301 406 *

*

* HEAT STRUCTURE

* 1410 : SG TUBE HEAT STRUCTURE *

14100000 10 4 2 1 0.0087 0 0 *

14100100 0 1 *

14100101 2 0.0127 *

14100102 1 0.0133 *

14100201 2 1 *

14100202 2 2 *

14100203 1 3 *

14100301 0.0 3 *

14100400 0 *

14100401 550.0 4 *

14100501 -101 0 2 1 3.564 1 *

14100502 -102 0 2 1 3.564 2 *

14100503 -103 0 2 1 3.564 3 *

14100504 -104 0 2 1 3.564 4 *

14100505 -105 0 2 1 3.564 5 *

14100506 -106 0 2 1 3.564 6 *

14100507 -107 0 2 1 3.564 7 *

14100508 -108 0 2 1 3.564 8 *

14100509 -109 0 2 1 3.564 9 *

14100510 -110 0 2 1 3.564 10 *

14100601 010010000 0 1 1 3.564 5 *

14100602	020010000	0	1	1	3.564	10	*
14100701	0	0.0	0.0	0.0	10		*
14100801	0	0.0	0.0	0.0	10		*
14100901	0	0.0	0.0	0.0	10		*
*							*

* 1420 : SG TUBE HEAT STRUCTURE *							

14200000	10	4	2	1	0.0087	0 0	*
14200100	0	1					*
14200101	2	0.0127					*
14200102	1	0.0133					*
14200201	2	1					*
14200202	2	2					*
14200203	1	3					*
14200301	0.0	3					*
14200400	0						*
14200401	550.0	4					*
14200501	-101	0	2	1	3.564	1	*
14200502	-102	0	2	1	3.564	2	*
14200503	-103	0	2	1	3.564	3	*
14200504	-104	0	2	1	3.564	4	*
14200505	-105	0	2	1	3.564	5	*
14200506	-106	0	2	1	3.564	6	*
14200507	-107	0	2	1	3.564	7	*
14200508	-108	0	2	1	3.564	8	*
14200509	-109	0	2	1	3.564	9	*
14200510	-110	0	2	1	3.564	10	*
14200601	012010000	0	1	1	3.564	5	*
14200602	022010000	0	1	1	3.564	10	*
14200701	0	0.0	0.0	0.0	10		*
14200801	0	0.0	0.0	0.0	10		*
14200901	0	0.0	0.0	0.0	10		*
*							*

* 1430 : SG TUBE HEAT STRUCTURE *							

14300000	10	4	2	1	0.0087	0 0	*

14300100	0	1				*	
14300101	2	0.0127				*	
14300102	1	0.0133				*	
14300201	2	1				*	
14300202	2	2				*	
14300203	1	3				*	
14300301	0.0	3				*	
14300400	0					*	
14300401	550.0	4				*	
14300501	-101	0	2	1	3.564	1	*
14300502	-102	0	2	1	3.564	2	*
14300503	-103	0	2	1	3.564	3	*
14300504	-104	0	2	1	3.564	4	*
14300505	-105	0	2	1	3.564	5	*
14300506	-106	0	2	1	3.564	6	*
14300507	-107	0	2	1	3.564	7	*
14300508	-108	0	2	1	3.564	8	*
14300509	-109	0	2	1	3.564	9	*
14300510	-110	0	2	1	3.564	10	*
14300601	014010000	0	1	1	3.564	5	*
14300602	024010000	0	1	1	3.564	10	*
14300701	0	0.0	0.0	0.0	10		*
14300801	0	0.0	0.0	0.0	10		*
14300901	0	0.0	0.0	0.0	10		*
*							*

* 1360 : A/C TUBE HEAT STRUCTURE *							

13600000	25	4	2	1	0.00950	0 0	*
13600100	0	1					*
13600101	1	0.01010					*
13600102	2	0.0127					*
13600201	1	1					*
13600202	2	2					*
13600203	2	3					*
13600301	0.0	3					*
13600400	0						*
13600401	550.0	4					*

13600501	360010000	0	1	1	1.9090	5	*
13600502	360020000	0	1	1	1.9090	10	*
13600503	360030000	0	1	1	1.9090	15	*
13600504	360040000	0	1	1	1.9090	20	*
13600505	360050000	0	1	1	1.9090	25	*
13600601	-311	0	2	1	1.9090	1	*
13600602	-312	0	2	1	1.9090	2	*
13600603	-313	0	2	1	1.9090	3	*
13600604	-314	0	2	1	1.9090	4	*
13600605	-315	0	2	1	1.9090	5	*
13600606	-321	0	2	1	1.9090	6	*
13600607	-322	0	2	1	1.9090	7	*
13600608	-323	0	2	1	1.9090	8	*
13600609	-324	0	2	1	1.9090	9	*
13600610	-325	0	2	1	1.9090	10	*
13600611	-331	0	2	1	1.9090	11	*
13600612	-332	0	2	1	1.9090	12	*
13600613	-333	0	2	1	1.9090	13	*
13600614	-334	0	2	1	1.9090	14	*
13600615	-335	0	2	1	1.9090	15	*
13600616	-341	0	2	1	1.9090	16	*
13600617	-342	0	2	1	1.9090	17	*
13600618	-343	0	2	1	1.9090	18	*
13600619	-344	0	2	1	1.9090	19	*
13600620	-345	0	2	1	1.9090	20	*
13600621	-351	0	2	1	1.9090	21	*
13600622	-352	0	2	1	1.9090	22	*
13600623	-353	0	2	1	1.9090	23	*
13600624	-354	0	2	1	1.9090	24	*
13600625	-355	0	2	1	1.9090	25	*
13600701	0	0.0	0.0	0.0	25		*
13600801	0	0.0	0.0	0.0	25		*
13600901	0	0.0	0.0	0.0	25		*
*							

* 1260 : SH TUBE HEAT STRUCTURE							*

12600000	2	4	2	1	0.0086	0 0	*

12600100 0	1					*
12600101 1	0.0092					*
12600102 2	0.0127					*
12600201 1	1					*
12600202 3	3					*
12600301 0.0	3					*
12600400 0						*
12600401 673.0	4					*
12600501 260010000 0	1	1	3.3	1		*
12600502 260020000 0	1	1	3.3	2		*
12600601 -402	0	2	1	3.3	1	*
12600602 -401	0	2	1	3.3	2	*
12600701 0	0.0	0.0	0.0	2		*
12600801 0	0.0	0.0	0.0	2		*
12600901 0	0.0	0.0	0.0	2		*

* 110 : SG-SHELL- DOME1 HEAT STRUCTURE *						

11100000 1	3	1	1	0.56	0 0	*
11100100 0	1					*
11100101 2	0.598					*
11100201 2	2					*
11100301 0.0	2					*
11100400 0						*
11100401 533.0	3					*
11100501 110010000 0	1	0	2.07	1		*
11100601 390010000 0	3101	0	2.07	1		*
11100701 0	0.0	0.0	0.0	1		*
11100801 0	0.0	0.0	0.0	1		*
11100901 0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*

* 100 : SG-SHELL- DOME2 HEAT STRUCTURE *						

11000000 1	3	1	1	0.86	0 0	*
11000100 0	1					*
11000101 2	0.898					*
11000201 2	2					*

11000301	0.0	2				*	
11000400	0					*	
11000401	533.0	3				*	
11000501	100010000	0	1	0	4.14	1	*
11000601	390010000	0	3101	0	4.14	1	*
11000701	0	0.0	0.0	0.0	1		*
11000801	0	0.0	0.0	0.0	1		*
11000901	0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*	

* 050 : SG-SHELL- DOME3 HEAT STRUCTURE *							

10500000	1	3	1	1	0.89	0 0	*
10500100	0	1					*
10500101	2	0.928					*
10500201	2	2					*
10500301	0.0	2					*
10500400	0						*
10500401	533.0	3					*
10500501	050010000	0	1	0	0.414	1	*
10500601	390010000	0	3101	0	0.414	1	*
10500701	0	0.0	0.0	0.0	1		*
10500801	0	0.0	0.0	0.0	1		*
10500901	0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*	

* 060 : SG-SHELL- D/C HEAT STRUCTURE *							

10600000	2	3	1	1	0.75	0 0	*
10600100	0	1					*
10600101	2	0.788					*
10600201	2	2					*
10600301	0.0	2					*
10600400	0						*
10600401	533.0	3					*
10600501	060010000	0	1	0	0.828	1	*
10600502	060020000	0	1	0	0.828	2	*
10600601	390010000	0	3101	0	0.828	2	*

10600701 0	0.0	0.0	0.0	2		*
10600801 0	0.0	0.0	0.0	2		*
10600901 0	0.0	0.0	0.0	2		*
*						*

* 070 : SG-SHELL- L/P HEAT STRUCTURE						*

10700000 1	3	1	1	0.62	0 0	*
10700100 0	1					*
10700101 2	0.658					*
10700201 2	2					*
10700301 0.0	2					*
10700400 0						*
10700401 533.0	3					*
10700501 070010000 0		1	0	2.07	1	*
10700601 390010000 0		3101	0	2.07	1	*
10700701 0	0.0	0.0	0.0	1		*
10700801 0	0.0	0.0	0.0	1		*
10700901 0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*

* 120 : SG-->AC -PIPE1 HEAT STRUCTURE						*

11200000 1	3	2	1	0.04855	0 0	*
11200100 0	1					*
11200101 2	0.05715					*
11200201 2	2					*
11200301 0.0	2					*
11200400 0						*
11200401 533.0	3					*
11200501 120010000 0		1	1	9.0	1	*
11200601 390010000 0		3102	1	9.0	1	*
11200701 0	0.0	0.0	0.0	1		*
11200801 0	0.0	0.0	0.0	1		*
11200901 0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*

* 345 : SG-->AC -PIPE2 HEAT STRUCTURE						*

13450000 1	3	2	1	0.04855	0 0	*
13450100 0	1					*
13450101 2	0.05715					*
13450201 2	2					*
13450301 0.0	2					*
13450400 0						*
13450401 533.0	3					*
13450501 345010000 0		1	1	9.0	1	*
13450601 390010000 0		3102	1	9.0	1	*
13450701 0	0.0	0.0	0.0	1		*
13450801 0	0.0	0.0	0.0	1		*
13450901 0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*

* 355 : SG-->AC -PIPE3 HEAT STRUCTURE *

13550000 1	3	2	1	0.04855	0 0	*
13550100 0	1					*
13550101 2	0.05715					*
13550201 2	2					*
13550301 0.0	2					*
13550400 0						*
13550401 530.0	3					*
13550501 355010000 0		1	1	3.	1	*
13550601 390010000 0		3102	1	3.	1	*
13550701 0	0.0	0.0	0.0	1		*
13550801 0	0.0	0.0	0.0	1		*
13550901 0	0.0	0.0	0.0	1		*
*						*

* 370 : AC-->SG -PIPE1 HEAT STRUCTURE *

13700000 1	3	2	1	0.03115	0 0	*
13700100 0	1					*
13700101 2	0.03815					*
13700201 2	2					*
13700301 0.0	2					*

13700400	0					*	
13700401	300.0	3				*	
13700501	370010000	0	1	1	9.	1	*
13700601	390010000	0	3102	1	9.	1	*
13700701	0	0.0	0.0	0.0	1		*
13700801	0	0.0	0.0	0.0	1		*
13700901	0	0.0	0.0	0.0	1		*
*							*

* 380 : AC-->SG -PIPE2 HEAT STRUCTURE *							

13800000	1	3	2	1	0.03115	0 0	*
13800100	0	1					*
13800101	2	0.03815					*
13800201	2						*
13800301	0.0	2					*
13800400	0						*
13800401	300.0	3					*
13800501	380010000	0	1	1	9.	1	*
13800601	390010000	0	3102	1	9.	1	*
13800701	0	0.0	0.0	0.0	1		*
13800801	0	0.0	0.0	0.0	1		*
13800901	0	0.0	0.0	0.0	1		*
*							*

* 240 : SG-->SH -PIPE1 HEAT STRUCTURE *							

12400000	1	3	2	1	0.0125	0 0	*
12400100	0	1					*
12400101	2	0.017					*
12400201	2						*
12400301	0.0	2					*
12400400	0						*
12400401	530.0	3					*
12400501	240010000	0	1	1	8.	1	*
12400601	390010000	0	3101	1	8.	1	*
12400701	0	0.0	0.0	0.0	1		*
12400801	0	0.0	0.0	0.0	1		*

```

12400901 0      0.0      0.0      0.0      1      *
*
*****
* 270 : SG-->SH -PIPE270-2 HEAT STRUCTURE      *
*****
12700000 1      3      2      1      0.0125  0 0      *
12700100 0      1      *      *
12700101 2      0.017      *      *
12700201 2      2      *      *
12700301 0.0     2      *      *
12700400 0      *      *
12700401 530.0   3      *      *
12700501 270020000 0    1      1      38.      1      *
12700601 390010000 0    3101    1      38.      1      *
12700701 0      0.0      0.0      0.0      1      *
12700801 0      0.0      0.0      0.0      1      *
12700901 0      0.0      0.0      0.0      1      *
*
*****
* CONTROL DATA
*****
* 001 : DETECTED FLUID LEVEL SG      *
20500100 SGL01      FUNCTION 1150.0    700.0      1      *
20500101 CNTRLVAR    002      201      *      *
*
*****
* 002 : FLUID VOLUME OF SG      *
20500200 SGL02      SUM      0.431      0.0      1      *
20500201 0.0      0.1      VOIDF    110010000      *
20500202      1.36      VOIDF    100010000      *
20500203      0.25      VOIDF    050010000      *
20500204      0.01092    VOIDF    014010000      *
20500205      0.01092    VOIDF    012010000      *
20500206      0.01092    VOIDF    010010000      *
20500207      0.01092    VOIDF    024010000      *
20500208      0.01092    VOIDF    022010000      *
20500209      0.01092    VOIDF    020010000      *
20500210      0.185     VOIDF    060010000      *

```

```

20500211      0.185    VOIDF    060020000      *
20500212      0.18     VOIDF    070010000      *
*
*          **
**3
*****
*      SH INLET FLOW CONTROL VALVE
*****
* ctlvar   name      type      factor      init      f      c      min      max
20580100  WSH-SET  CONSTANT  0.047
20580300  DWSH     SUM       1.0        0.0        0      3     -1.0      1.0
20580301  0.0      -1.0      MFLOWJ    249000000
20580302            1.0      CNTRLVAR  801
20580400  CNTLSH   PROP-INT  1.0        0.67       0      3     0.0       1.0
20580401  0.1      1.0      CNTRLVAR  803
*
*****
*      AV80S  VALVE ==> STABLE A/C WATER FLOW (03.2.14)
*****
* ctlvar   name      type      factor      init      f      c      min      max
20581100  LIFT80S  FUNCTION  1.0        0.0        1
20581101  TIME      0          811
*
20281100  HTC-T    0
*      TIME      LIFT80S    B5
20281101  0.0      0.1
20281102  1000.    0.1
20281103  1830.    0.1
20281104  1840.    0.1
20281105  4199.    0.1
20281106  4200.    0.0
20281107  4278.    0.0
20281108  4298.    0.0
20281109  4303.    0.0
20281110  4308.    0.0
20281111  4309.    0.0
20281112  99999.   0.0
*****
*      201XXX : MATERIAL THERMAL PROPERTY TABLE      *

```

*

* 201001 : FAULING *

20100100 TBL/FCTN 1 1 *

* THERMAL CONDUCTIVITY *

* K W/M.K *

20100101 273.15 3.50 *

20100102 2000.0 3.50 *

*

* VOLUMETRIC HEAT CAPACITY *

* K J/M3.K *

20100151 273.15 41870.0 *

20100152 2000.0 41870.0 *

*

* 201002 : SG TUBE MAT. IS *

* 201002 : EV TUBE MAT. IS MODELED BY C-STEEL *

20100200 C-STEEL *

*

* 201003 : SH TUBE MAT. IS *

* 201003 : SH TUBE MAT. IS MODELED BY S-STEEL *

20100300 S-STEEL *

*

* GENERAL TABLE *

**3

*

* SH INLET VALVE (VJ249(CV11S))

*

20200100 NORMAREA 0

* STEMPOS1 AREA

20200101 0.0 0.0

20200102 1.0 1.0

*

* 101:HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF HEAT STRUCTURE (SG-SHELL,/SH-PIPE)

20210100 HTC-T 0 *

*** TIME HTC. *

20210101 0.0 5.0 * A4 B1 *

20210102 99999. 5.0 * A4 B1 *

* 102:HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF HEAT STRUCTURE (SG-AC PIPE)

20210200 HTC-T 0 *

*** TIME HTC. *

20210201 0.0 5.0 * A4 B1 *

20210202 99999. 5.0 * A4 B1 *

* 501:HEAT STRUCTURE BOUNDARY BOLUMU (SG-SHELL, AC/SH-PIPE)

*20250100 TEMP 0 *

*** TIME TEMP *

*20250101 0.0 283.15 * B2 *

*20250102 99999. 283.15 * B2 *

* 201 : FLUID LEVEL - FLUID VOLUME CORRELATION TABLE *

20220100 NORMAREA 0 *

* NOR.VOLF NOR.DLV *

20220101 0.0 0.0 *

20220102 0.077 0.130 *

20220103 0.267 0.313 *

20220104 0.374 0.400 *

20220105 0.957 0.913 *

20220106 1.0 1.0 *

*

*%

*

* S G P R E S S U R E C O N T R O L

*

-----MINOR EDIT REQUESTS-----

0000312	CNTRLVAR	610	* BC. P (MPA)
0000313	CNTRLVAR	611	* LAG. P
0000314	CNTRLVAR	612	* GAIN(%P)
0000315	CNTRLVAR	614	* DP(%P)
0000316	CNTRLVAR	615	* ABS:DP (%P)
0000318	CNTRLVAR	609	* PROP:DP (%P)
0000319	CNTRLVAR	616	* INT:DP (%P)
0000320	CNTRLVAR	623	* LIMIT:DP (%P)
0000321	CNTRLVAR	621	* PROP:DP (%P)
0000322	CNTRLVAR	624	* LIMIT:DP (%P)
0000323	CNTRLVAR	617	* GAIN:KG/H
0000324	CNTRLVAR	618	* TOTAL FLOW(KG/H)
0000325	CNTRLVAR	619	* LAG(KG/H)
0000328	CNTRLVAR	626	*
0000329	CNTRLVAR	620	*
0000330	P	110010000	* BC. P (PA)
0000331	MFLOWJ	110010000	*
0000332	MFLOWJ	211000000	*
0000333	MFLOWJ	239000000	*
0000334	MFLOWJ	341000000	*
0000335	MFLOWJ	342000000	*
0000336	MFLOWJ	346000000	*

*

*

* P PA==>MPA

20561000 PSG SUM 1.E-6 0.0 1 *

20561001 0.0 1.0 P 110010000

*

* <SG PRESSURE CONTROL SYSTEM>

*

*

20561100 LAGPSG LAG 1.0 0.0 1 *

20561101 1.0 CNTRLVAR 610 * SG PRESSURE(MPA)

*

20561200 GAIN SUM 1.0 0.0 1 * MPA==>%PRESSURE
 20561201 0.0 20.0 CNTRLVAR 611 * 100/AC1=100/5=20 (%/MPA)
 *
 20561400 DP SUM 1.0 0.0 1 * SETPOINT P=4.61/5=92.2%PRESSURE
 20561401 -92.2 1.0 CNTRLVAR 612
 *
 20561500 DP STDFNCTN 1.0 0.0 1
 20561501 ABS CNTRLVAR 614
 *
 *----- PI CONTROLLER INRLET -----
 *
 20560900 PI SUM 1.0 0.0 1 * AP1=100/5=20
 20560901 0.0 20.0 CNTRLVAR 614 *
 *
 20561600 INT INTEGRAL 1.66667-3 0.0 1 * TAU11=600SEC
 20561601 CNTRLVAR 609
 *
 * LIMITTER
 *
 20562300 WLPSG(A) FUNCTION 1.0 0.0 1 * (%)
 20562301 CNTRLVAR 616 623
 *
 20262300 POWER
 20262301 -1.E10 -100.
 20262302 -100. -100.
 20262303 +100. +100.
 20262304 +1.E10 +100.
 *
 20562100 PI SUM 1.0 0.0 1
 20562101 0.0 1.0 CNTRLVAR 609
 20562102 1.0 CNTRLVAR 623
 *
 * LIMITTER
 *
 20562400 WLPSG(A) FUNCTION 1.0 0.0 1 * (%)
 20562401 CNTRLVAR 621 624
 *
 20262400 POWER

20262401 -1.E10 -100.
 20262402 -100. -100.
 20262403 +100. +100.
 20262404 +1.E10 +100.

*

----- PI CONTROLLER OUTLET -----

*

20561700 GAIN SUM 1.0 0.0 1
 20561701 0.0 3.6 CNTRLVAR 624 * %PRESSURE==>KG/H
 *

20561800 FLOW SUM 1.0 0.0 1
 20561801 35.4 1.0 CNTRLVAR 617 * INITIAL FLOW 35.4 KG/H

*

20561900 LAGVALVE LAG 1.0 0.0 1 * KG/H
 20561901 1.0 CNTRLVAR 618
 *

20562000 FLOW SUM 2.77778E-4 0.0 1 * 2.77778E-4=1/3600.
 20562001 0.0 1.0 CNTRLVAR 619 * C619(KG/H)->(KG/S)

*

20562600 DFLOW SUM 1.0 0.0 1 *
 20562601 0.0 1.0 MFLOWJ 110010000 * BR110
 20562602 -1.0 CNTRLVAR 620 * C619(KG/S)

*

*

* S H L E V E L C O N T R O L

*

-----MINOR EDIT REQUESTS-----

*

0000361 CNTRLVAR 710 * BC. EL (M)
 0000362 CNTRLVAR 711 * LAG. LVL
 0000363 CNTRLVAR 712 * GAIN(%LVL)
 0000364 CNTRLVAR 714 * DLVL (%LVL)
 0000365 CNTRLVAR 715 * ABS:DLVL (%LVL)
 0000366 CNTRLVAR 716 * PROP:DLVL (%LVL)

0000367 CNTRLVAR 717 * INT:DLVL(%LVL)
 0000368 CNTRLVAR 718 * LIMIT:DLVL(%LVL)
 0000369 CNTRLVAR 719 * PI:DLVL(%LVL)
 *
 0000370 CNTRLVAR 720 * LIMIT:DLVL(%LVL)
 0000371 CNTRLVAR 721 * GAIN:%FLOW
 0000372 CNTRLVAR 722 * BC.FW(LG/HR)
 0000385 CNTRLVAR 735 * FLOW(KG/HR)
 0000386 CNTRLVAR 736 * LAG:FLOW(KG/HR)
 *

 *
 * SG LEVEL

 *
 20571000 SGLVL SUM 0.001 0.7 0 * (MM)=>(M)
 20571001 0.0 1.0 CNTRLVAR 001
 *
 * FEED WATER FLOW RATE
 *
 20572200 FW SUM 3600.0 0.0 1 * (KG/S)=>(KG/HR)
 20572201 0.0 1.0 MFLOWJ 201000000
 * CEND
 *
 * <SG LEVEL CONTROL SYSTEM>
 *
 20571100 LAGPSG LAG 1.0 0.0 1 *
 20571101 5.0 CNTRLVAR 710 * TAUD1=5SEC
 *
 20571200 GAIN SUM 1.0 0.0 1 * M=>%LEVEL
 20571201 0.0 111.1 CNTRLVAR 711 * 100/AC1=100/0.9=111.1 (%/M)
 *
 20571400 DLVL SUM 1.0 0.0 1 * SETPOINT EL=77.78%LEVEL
 20571401 +77.78 -1.0 CNTRLVAR 712
 *
 20571500 ABS(LVL) STDFNCTN 1.0 0.0 1
 20571501 ABS CNTRLVAR 714
 *

----- PI CONTROLLER (1) INLET -----

20571600 PI SUM 1.0 0.0 1 * AP1=100/5=10.0
 20571601 0.0 20.0 CNTRLVAR 714 *

20571700 INT INTEGRAL 8.33333E-6 0.0 1 * TAU11=120000SEC
 20571701 CNTRLVAR 716

*
 * LIMITTER
 *
 20571800 WLPSG(A) FUNCTION 1.0 0.0 1 * (%LEVEL)
 20571801 CNTRLVAR 717 718

20271800 POWER
 20271801 -1.E10 -100.0
 20271802 -100.0 -100.0
 20271803 +100.0 +100.0
 20271804 +1.E10 +100.0

20571900 PI SUM 1.0 0.0 1 *
 20571901 0.0 1.0 CNTRLVAR 716
 20571902 1.0 CNTRLVAR 718

*
 * LIMITTER
 *
 20572000 WLPSG(A) FUNCTION 1.0 0.0 1 * (%LEVEL)
 20572001 CNTRLVAR 719 718

----- PI CONTROLLER (1) OUTLET -----

20572100 GAIN SUM 1.0 0.0 1
 20572101 0.0 3.6 CNTRLVAR 720 * 360/100=3.6 %LEVEL=>%FLOW

20573500 FLOW SUM 1.0 0.0 1
 20573501 205. 1.0 CNTRLVAR 721 * INITIAL FEED WARTER FLOW 205. KG/H

20573600 LAGVALVE LAG 1.0 0. 1 * TAUV1=5SEC

20573601 5.0 CNTRLVAR 735

*

20574000 FLOW SUM 2.77778E-4 0.0 1

20574001 0.0 1.0 CNTRLVAR 736 * C736 (KG/H) -> (KG/S)

*

* END TERMINATOR

A. 6. 2 RELAP5 新規モジュール入力データ例

```

OUTPILE SG+AC+SH   B4  03.02.20

&sg00
nrecsg=0,
&end
&sg11
iniac = 0, inisg(1) = 0, inisg(8) = 0,
iachnel = 5,
ihxgas(1) = 1,2,2,2,2,2,4,1,
matgas(1) = 1,2,2,2,2,2,2,1,
koptgas(1) = 1,2,2,2,2,2,0,1,
ngas(1) = 12,5,5,5,5,0,2
tgas(1,1)= 809.,809.,708.,653.,603.,583.,573.,558.,554.,550.,
               547.,546.,546.,
nocell(1,1) = 0,101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,0,
degas(1,1)=0.31,10*0.0174,0.51,
assgas(1,1)=0.0755,10*0.0064,0.2075,
ascgas(1,1)=0.0755,10*0.0064,0.2075,
xsgas(1,1) = 0.62,10*0.35,0.526,
cnstsg = 1.,
betasg = 0.5,
txxxsg(1) = 0.0,
pgin(1,1,1)=0.,100000.,
pgin(1,2,1)=2*3.95+06,
tgin(1,1,1)=0.,100000.,
tgin(1,2,1)=2*809.,
tgin(1,1,1)=0., 3600., 4200.,4209.,4227.,4241.,4277.,4400.,
               4500.,4600.,4700.,4800.,4900.,5000.,5100.,5400.,
               5800.,6600.,7622.,999999.,
tgin(1,2,1)=804.1,804.2,822.2,822.9,829.2,834.4, 856.2, 890.4,
               909.1, 924.4, 937.2, 948.1,957.4,965.4,972.2,988.4,
               1004.1,1022.9,1032.2,1032.2,
wgin(1,1,1)=0.,100000.,
wgin(1,2,1)=2*0.091,
degas(1,2)=5*0.0400,
degas(1,3)=5*0.0400,

```

```
degas(1, 4)=5*0.0400,  
degas(1, 5)=5*0.0400,  
degas(1, 6)=5*0.0400,  
degas(1, 7)=0.0,  
asgas(1, 2)=5*0.235,  
asgas(1, 3)=5*0.235,  
asgas(1, 4)=5*0.235,  
asgas(1, 5)=5*0.235,  
asgas(1, 6)=5*0.235,  
asgas(1, 7)=0.0,  
ascgas(1, 2)=5*0.120,  
ascgas(1, 3)=5*0.120,  
ascgas(1, 4)=5*0.120,  
ascgas(1, 5)=5*0.120,  
ascgas(1, 6)=5*0.120,  
ascgas(1, 7)=0.0,  
xsgas(1, 2)=5*0.1,  
xsgas(1, 3)=5*0.1,  
xsgas(1, 4)=5*0.1,  
xsgas(1, 5)=5*0.1,  
xsgas(1, 6)=5*0.1,  
xsgas(1, 7)=0.,  
tgas(1, 2)= 293., 349., 385., 421., 457., 493.,  
tgas(1, 3)= 293., 349., 385., 421., 457., 493.,  
tgas(1, 4)= 293., 349., 385., 421., 457., 493.,  
tgas(1, 5)= 293., 349., 385., 421., 457., 493.,  
tgas(1, 6)= 293., 349., 385., 421., 457., 493.,  
tgas(1, 7)= 6*0.,  
nocell(1, 2) = 311, 312, 313, 314, 315,  
nocell(1, 3) = 321, 322, 323, 324, 325,  
nocell(1, 4) = 331, 332, 333, 334, 335,  
nocell(1, 5) = 341, 342, 343, 344, 345,  
nocell(1, 6) = 351, 352, 353, 354, 355,  
doac=0.0254,  
aofin=0.07012,  
affin=1.8083,  
fkfin=1.0,  
phifin=0.86,
```

```

toair=293.15,
toair=290.15,
wair=3.055,
wair=0.492,
wair=3.359,
pair=101352.,
txxxsg(7) = 0.0,
wgin(1,1,7)=0.,5626.,5633.,5774.,5783.,6024.,6033.,7170.,
7172.,8685.,8686.,8699.,8700.,61280.,61290.,
96000.,99999.,
wgin(1,2,7)=0.76,0.76,1.14,1.14,1.71,1.71,2.08,2.08,
2.13,2.13,2.12,2.12,2.10,2.10,2.13,
2.13,2.13,
nocell(1,8) = 401,402,
degas(1,8)=2*0.0254,
asgas(1,8)=2*0.0076,
ascgas(1,8)=2*0.0076,
xsgas(1,8)=2*2.52,
txxxsg(8) = 0.0,
tgas(1,8)= 847.4, 828., 809.,
pgin(1,1,8)=-10000., 100000.,
pgin(1,2,8)= 2*3.98+06,
tgin(1,1,8)=0.,1856.,2001.,2291.,2494.,3103.,3509.,
4002.,6003.,8004.,10005.,15000.,999999.,
tgin(1,2,8)= 853.,863.,885.,925.,942.,972.,983.,
992.,1001.,998.4,997.4,997.4,997.4,
wgin(1,1,8)=-10000.,100000.,
wgin(1,2,8)= 0.091, 0.091,
&end
&namp;a
ioptpla = 0,
&end

```

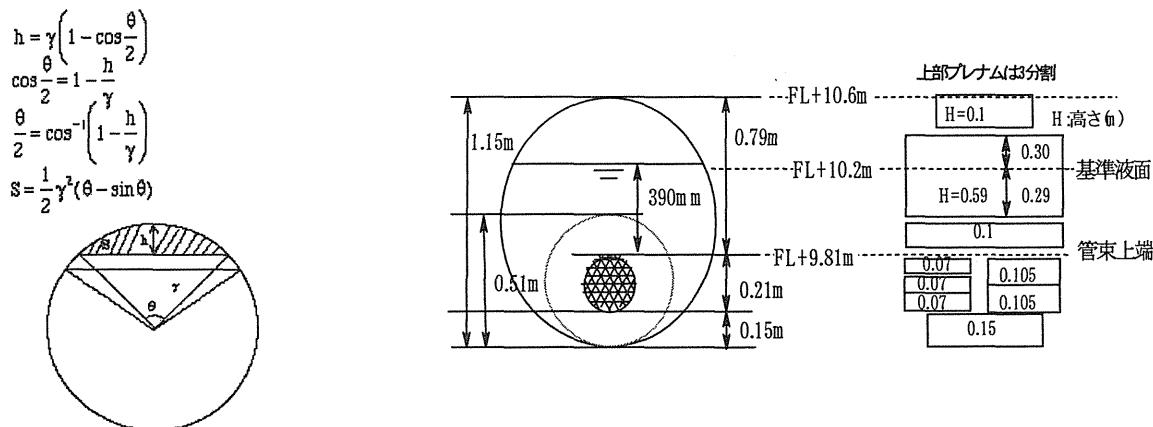


Fig.A.1 Modeling of steam generator inventory.

Table A.1 Calculation sheet of the steam generator inventory.

		本数	管径 [m]	高さ H [m]	$\Sigma (H)$ [m]	中心角 θ [rad]	断面積 S [m ²]	インベントリ V [m ³]
下部プレナム部インベントリ								
下部プレナム部1	Br070			0.15	0.15	1.478	0.080	0.18
管束相当 + ダウンカマ	Sv010～024+P060			0.21	0.36	2.375	0.198	0.44
上部プレナム部インベントリ								
上部プレナム部1	Br050			0.1	0.1	1.197	0.044	0.10
上部プレナム部2	Sv100			0.59	0.69	3.544	0.607	1.36
上部プレナム部3	Br110			0.1	0.79	3.908	0.110	0.25
計(胴全体)							1.039	2.33
伝熱管全体	Sv010～024	27	0.0254				0.0137	0.05
管束部(空間)体積	Sv010～024			0.21			0.021	0.07
管側部水側インベントリ	Sv010～024			0.07			0.156	0.01092
全水蒸気インベントリ								2.28
ダウソカマ部	P060							0.37

$$\begin{aligned}
 & * \text{ (胴全体インベントリ)} - \text{ (管束部空間体積)} \\
 & = \text{ (全水蒸気インベントリ)}
 \end{aligned}$$

Table A.2 Input data of steam generator for RELAP5.

部位	TYP E	形状データ										初期条件					
		ID	分割 数	流路断面 積	高さ H	mesh長 さ	インベントリ V	方位 角	俯角	エレベー ション	壁面粗さ	等価直 径	圧力	温度	クオリ ティ	液相流量	気相流量
ボリューム	-	[m ²]	[m]	[m]	[m ³]	[度]	[度]	[m]	[m]	[m]	[m]	[Pa]	[K]	-	[kg/s]	[kg/s]	
給水圧力B.C.	Tv	200	1	1.00	-	-	1.00E+07	0	0	0	0	1.00	4.61E+06	502.4	-	-	
蒸気ドーム	Br	110	1	1.00	0.1	0.1	0.1	0	90	0.1	2.00E-05	1.13	4.61E+06	533	1.0	0.0	0.0664
液面部ボリューム	Sv	100	1	2.305	0.59	0.59	1.36	0	90	0.59	2.00E-05	1.71	4.61E+06	533	0.033	-	-
液面下部ボリューム	Br	050	1	2.500	0.1	0.1	0.25	0	90	0.1	2.00E-05	1.78	4.61E+06	533	0.01	0.0664	0.0
ダウンカマ部	P	060	2	1.762	0.21	0.105	0.37	0	-90	0.21	2.00E-05	1.50	4.61E+06	-	-	-	-
下部フレナム	Br	070	1	1.200	0.15	0.15	0.18	0	90	0.15	2.00E-05	1.24	4.61E+06	-	-	0	0
高温部伝熱管水側1/3	Sv	020	1	0.156	0.07	0.07	0.01092	0	90	0.070	2.00E-05	0.156	4.61E+06	-	0.01	-	-
高温部伝熱管水側2/3	Sv	022	1	0.156	0.07	0.07	0.01092	0	90	0.070	2.00E-05	0.156	4.61E+06	-	0.01	-	-
高温部伝熱管水側3/3	Sv	024	1	0.156	0.07	0.07	0.01092	0	90	0.070	2.00E-05	0.156	4.61E+06	-	0.01	-	-
低温部伝熱管水側1/3	Sv	010	1	0.156	0.07	0.07	0.01092	0	90	0.070	2.00E-05	0.156	4.61E+06	-	0.01	-	-
低温部伝熱管水側2/3	Sv	012	1	0.156	0.07	0.07	0.01092	0	90	0.070	2.00E-05	0.156	4.61E+06	-	0.01	-	-
低温部伝熱管水側3/3	Sv	014	1	0.156	0.07	0.07	0.01092	0	90	0.070	2.00E-05	0.156	4.61E+06	-	0.01	-	-

Table A.3 Input data of steam generator for RELAP5 added module.

部位	セルNo.	等価直徑 [m]	流路断面積 [m ²]	最小流路断面積 [m ²]	長さ [m]	熱構造材内径 [m]	熱構造材外径 [m]	管外熱貫流率 [W/m ² K]	構造材材質
入口配管	—	0.0412	0.00133	0.00133	2.95	0.0412	0.267	0.45	カオウール
入口プレナム部	—	0.31	0.0755	0.0755	0.62	0.31	0.512	1.11	カオウール
	101								
	102								
伝熱管	103								
	104								
	105	0.0174	0.0064	0.0064	0.35	—	—	—	
	106								
	107								
	108								
	109								
	110								
出口プレナム部1	—	0.51	0.2075	0.2075	0.34	0.51	0.56	2.78	Cr-Mo鋼
出口プレナム部2	—				0.14		0.96	4.53	Cr-Mo鋼
出口配管	—	0.0527	0.00218	0.00218	4.8	0.0527	0.0605	0.69	カオウール

Table A.4 Input data of radiator and piping for RELAP5.

部位	TYPE	ID	分割数	流路断面積	長さ	mesh長さ	インベントリ	方位角	俯角	mesh高さ	壁面粗さ	等価直径	圧力	温度	クオリティ	液相流量	気相流量
		-	[m ²]	[m]	[m]	[m ³]	[度]	[度]		[m]	[m]	[m]	[Pa]	[K]	-	[kg/s]	[kg/s]
蒸気発生器出口配管	Sv	120	1	0.00741	9.0	9.0	0.0667	0	90	1.74	2.00E-05	0.0971	4.61+06	-	1.0	0.0	0.144
放熱器入口配管1	Sv	345	1	0.00741	9.0	9.0	0.0667	0	90	5.86	2.00E-05	0.0971	4.61+06	-	1.0	0.0	0.144
放熱器入口配管2	Sv	355	1	0.00741	3.0	3.0	0.0222	0	-45	-0.5	2.00E-05	0.0971	4.61+06	-	1.0	0.0	0.144
放熱器伝熱管	P	360	5	0.01314	1.16	0.233	5×			0	0	2.00E-05	0.0202	4.61+06	532	0.01~0.0	0.0
放熱器出口配管1	Sv	370	1	0.003048	9.0	9.0	0.0274	0	-90	-6.20	2.00E-05	0.0623	4.61+06	300	-	-	-
放熱器出口配管2	Sv	380	1	0.003048	9.0	9.0	0.0274	0	-90	-2.05	2.00E-05	0.0623	4.61+06	300	-	-	-
放熱器出口配管3	Sv	395	1	0.002324	22.7	22.7	0.0528	0	-90	-8.09	2.00E-05	0.0272	0.33+06	300	-	-	-
放熱器出口配管B.C.	Tv	385	1	10.0	-	-	1.00E+07	0	-90	-8.09	2.00E-05	0.0272	0.12+06	300	-	-	-

Table A.5 Input data of radiator for RELAP5 added module.

部位	セルNo	分割数	流路断面積	長さ	等価直径	最小流路断面積
			[m ²]	[m]	[m]	[m ²]
	311~315	5	0.12	0.10	0.40	0.12
	321~325	5	0.12	0.10	0.40	0.12
空気側流路チャンネル	331~335	5	0.12	0.10	0.40	0.12
	341~345	5	0.12	0.10	0.40	0.12
	351~355	5	0.12	0.10	0.40	0.12

Table A.6 Input data of steam superheater and piping for RELAP5.

部位	TYPE	ID	分割数	流路断面積	長さ	mesh長さ	インベントリ	方位角	俯角	me sh 高さ	壁面粗さ	等価直径	形状損圧係数	形状損圧係数	圧力	温度	クオリティ	液相流量	気相流量
			—	[m ²]	[m]	[m]	[m ³]	[度]	[度]	[m]	[m]	[m]	正流	逆流	[Pa]	[K]	—	[kg/s][kg/s]	
過熱器入口配管	Sv	240	1	0.00049	8	8	0.003927	0	0	0	2.00E-05	0.025	—	—	4.61E+06	—	1.0	0.0	0.05
過熱器入口ヘッダ	Sv	250	1	0.0638	0.37	0.37	0.023604	0	0	0	2.00E-05	0.285	—	—	4.61E+06	—	1.0	0.0	0.05
過熱器伝熱管	P	260	2	0.00027	5.77	2.885	0.001534	0	0	0	2.00E-05	0.0184	0.24	0.24	4.50E+06	607.5	1.0	0.0	0.05
過熱器出口ヘッダ	P	270	(1)	0.0638	0.37	0.37	0.02360	0	0	0	2.00E-05	0.285	0.5	1.0	4.50E+06	678	1.0	0.0	0.05
過熱器出口配管			(2)	0.00049	38	38	0.01865	0	0	0	2.00E-05	0.025	—	—	4.40E+06	678	1.0	0.0	0.05
過熱器出口配管B.C.	Tv	280	1	10.0	—	—	1.00E+07	—	—	—	—	—	—	—	4.20E+06	678	—	—	—

Tabl A.7 Input data of steam superheater for RELAP5 added module.

部位	セルNo	分割数	流路断面積	長さ	等価直徑	最小流路断面積
過熱器ヘリウム側	401	1	0.0076	2.52	0.0254	0.0076
	402	1	0.0076	2.52	0.0254	0.0076

Table A.8 Input data of heat structure for RELAP5.

蒸気発生器熱構造材データ

部位	TYPE	ID	軸方向分割数	径方向分割数	形状	長さ	mesh長さ	高さ	熱構造材 内側座標	熱構造材 外側座標	表面積比	伝面係数	熱構造材 温度初期 値	雰囲気温度	構造材外面熱 通過率
蒸気ドーム	Sv	110	1	3	rect	0.1	0.1	0.56	0.598	1	2.07	—	[K]	[W/m ² K]	
液面部ボリューム	Sv	100	1	3	rect	0.59	0.59	0.86	0.898	2	4.14	533	283.15	5.0	
液面下部ボリューム	Br	050	1	3	rect	0.1	0.1	0.89	0.928	0.2	0.414	533	283.15	5.0	
ダウガマ部	P	060	2	3	rect	0.21	0.105	0.21	0.75	0.788	0.8	1.656	533	283.15	5.0
下部フレナム部	Br	070	1	3	rect	0.15	0.15	0.62	0.658	1	2.07	533	283.15	5.0	
									合計	5	10.35				

放熱器熱構造材データ

部位	TYPE	ID	軸方向分割数	径方向分割数	形状	長さ	mesh長さ	mesh高さ	熱構造材 内半径	熱構造材 外半径	伝面係数	熱構造材 温度初期 値	雰囲気温度	構造材外面熱 通過率
放熱器入口配管1	Sv	120	1	3	cyl	9.0	9.0	1.74	0.04855	0.05715	9.00	533	283.15	5.0
放熱器入口配管1	Sv	345	1	3	cyl	9.0	9.0	5.86	0.04855	0.05715	9.00	533	283.15	5.0
放熱器入口配管2	Sv	355	1	3	cyl	3.0	3.0	-0.5	0.04855	0.05715	3.00	533	283.15	5.0
放熱器出口配管1	Sv	370	1	3	cyl	9	9.0	-6.20	0.03115	0.03815	9.00	300	283.15	5.0
放熱器出口配管2	Sv	380	1	3	cyl	9	9.0	-2.05	0.03115	0.03815	9.00	300	283.15	5.0

蒸気過熱器熱構造材データ

過熱器入口配管	Sv	240	1	3	cyl	8	8	0.000	0.0125	0.017	8.00	530	283.15	5.0
過熱器出口配管	P	270	(2)	3	cyl	38	38	0.000	0.0125	0.017	38.00	530	283.15	5.0

rect:rectangular
cyl:cylindrical

Table A.9 Input data of valve for RELAP5.

試験装置 バルブ No.	Vj 形式	ID	のど部面積 [m ²]	形状損失係数	
				正流	逆流
AV10S	trpvlv	239	—	3.5	3.5
AV18S	trpvlv	342	—	5.0	5.0
AV19S	trpvlv	382	—	6.2	999
AV80S	srvv lv	381	0.000581	0.1	0.1
CV11S	srvv lv	249	0.00038	0.1	0.1

Table A.10 Input data of CV value of CV11S (Vj No.249) for RELAP5.

弁開度	Cv 値	
	正流	逆流
0	1.00E-06	1.00E-06
0.025	0.07	0.07
0.1	0.11	0.11
0.2	0.17	0.17
0.3	0.25	0.25
0.4	0.37	0.37
0.5	0.55	0.55
0.6	0.8	0.8
0.7	1.16	1.16
0.8	1.71	1.71
0.9	2.52	2.52
1.0	3.8	3.8

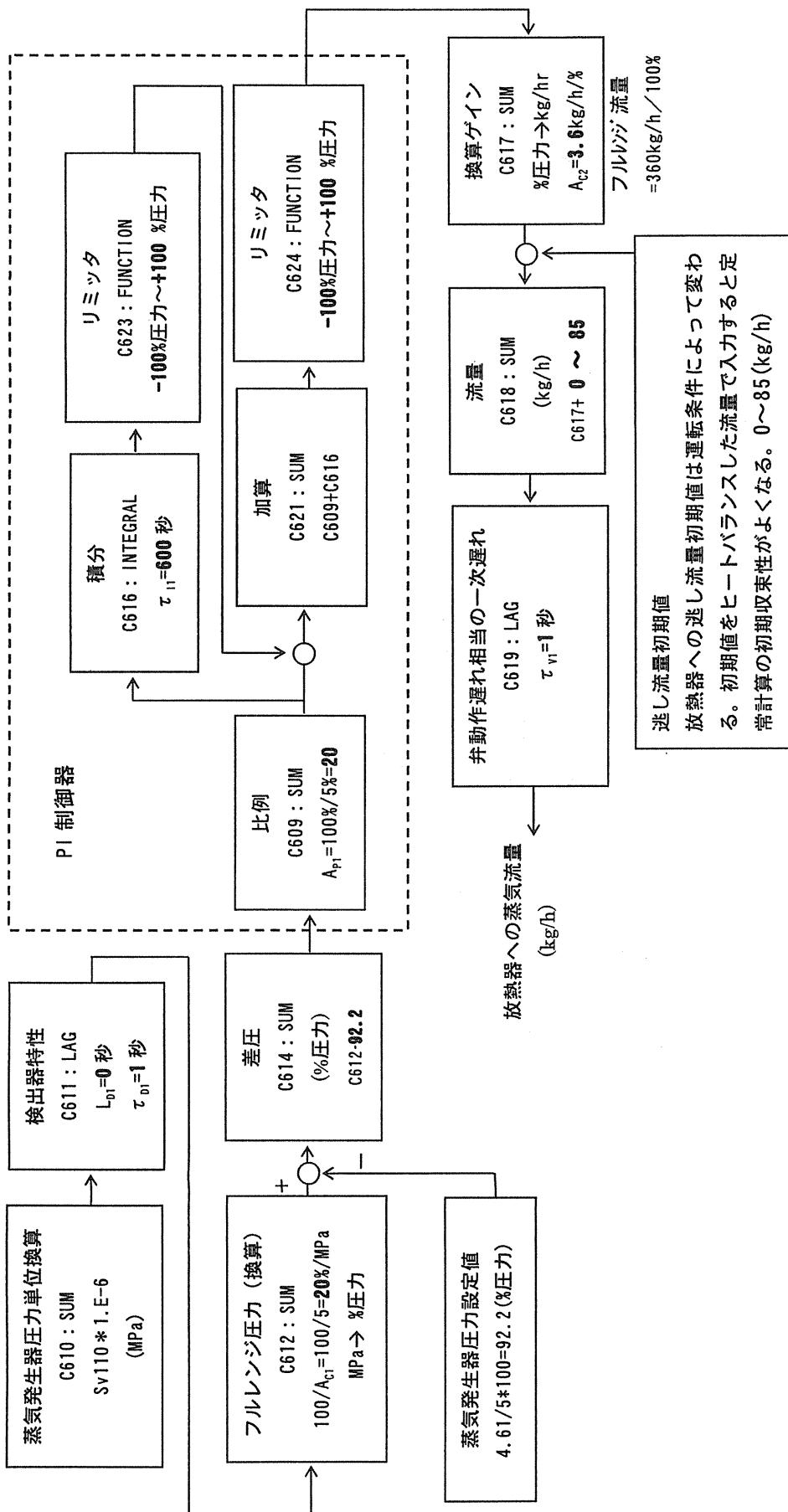


Fig.A.2 Analysis model of steam generator pressure control system.

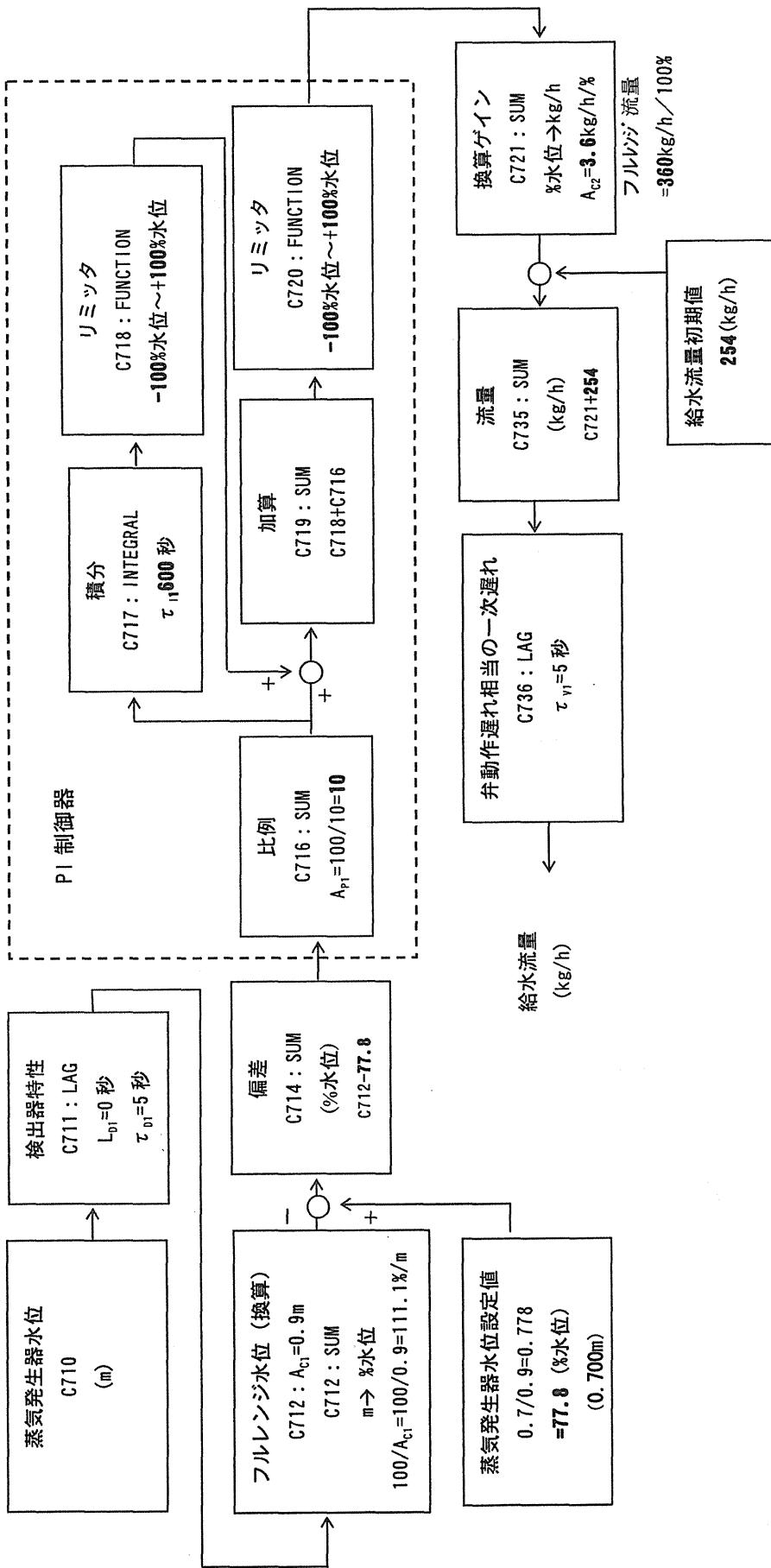


Fig.A.3 Analysis model of steam generator water level control system.

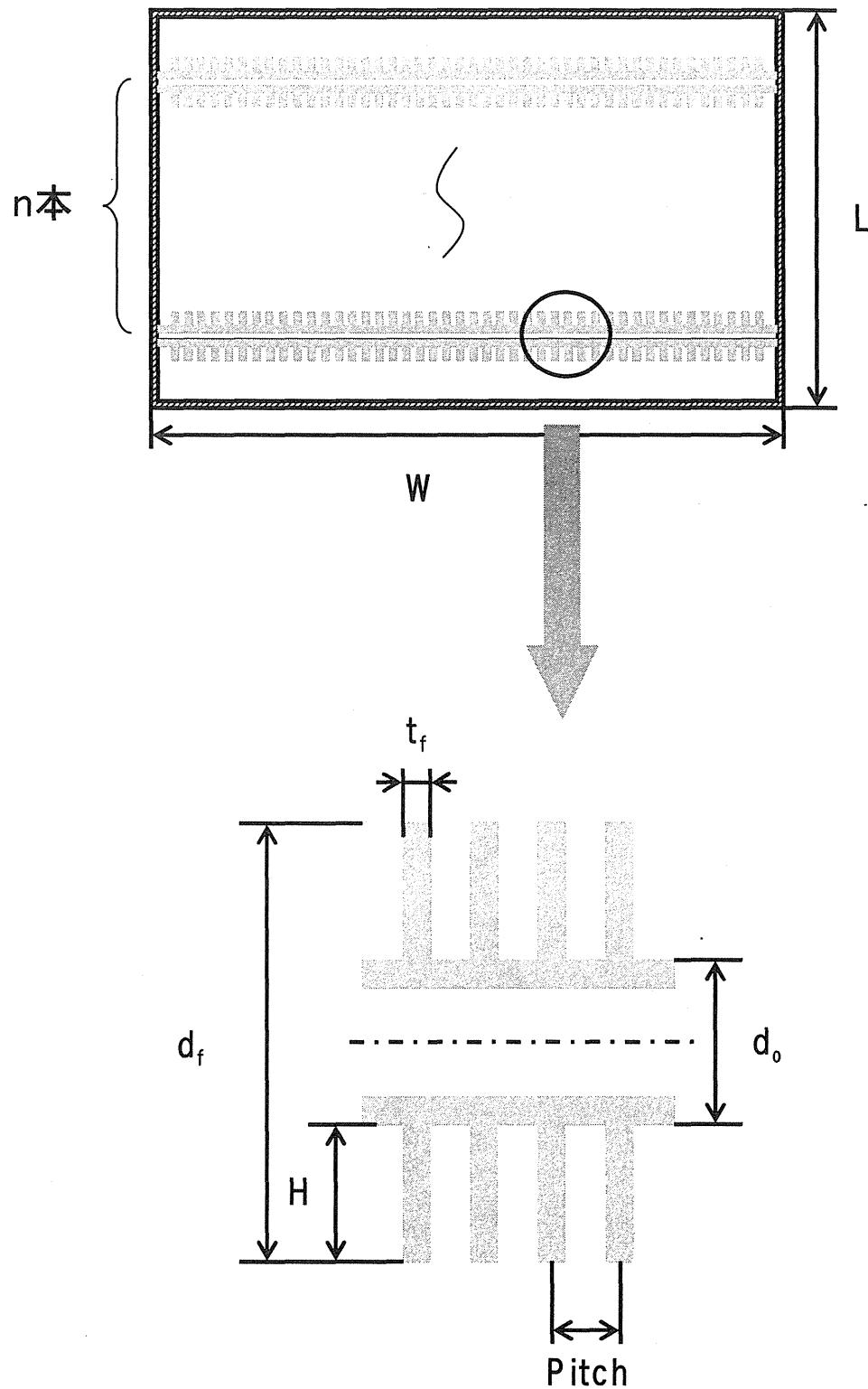


Fig.A.4 Schematic view of finned tube of radiator.

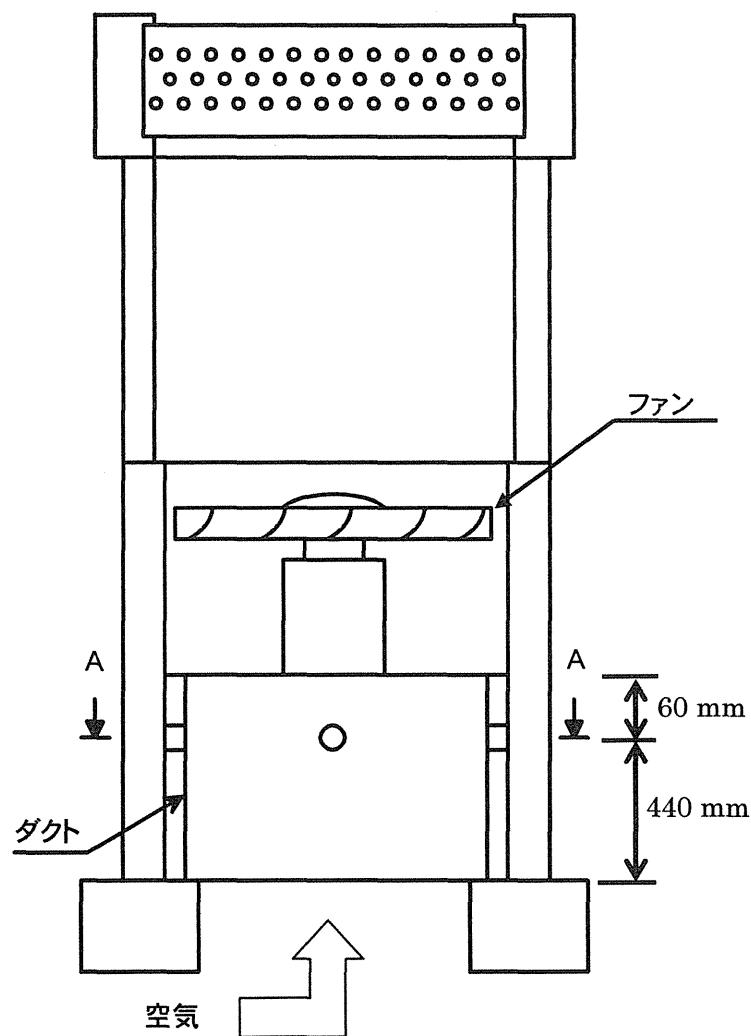
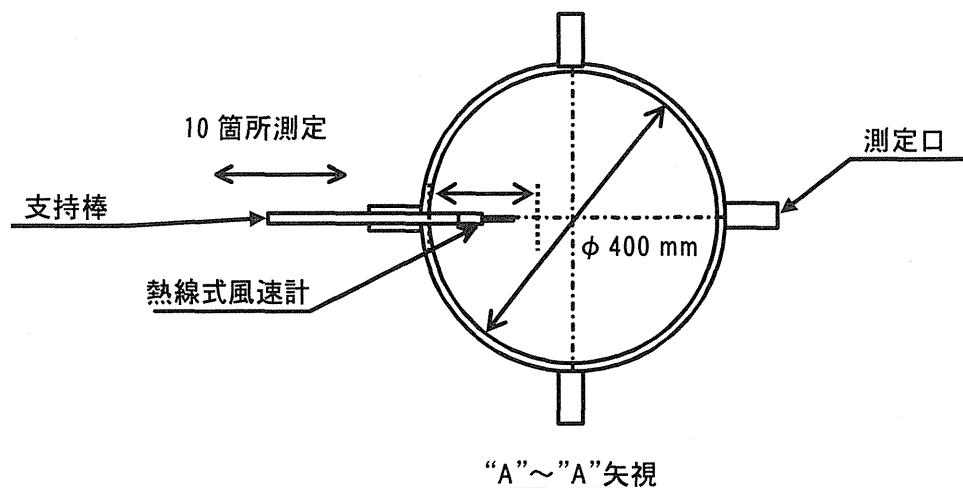


Fig.A.5 Schematic view of wind velocity detector and cylindrical duct installed at radiator.

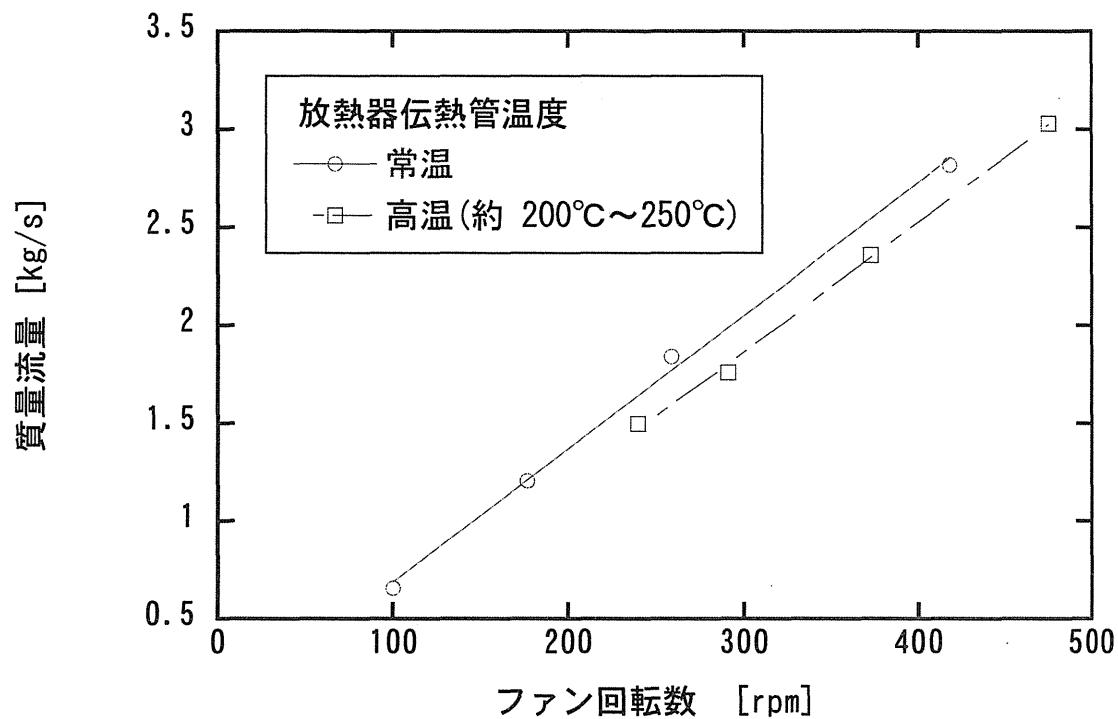


Fig.A.6 Correlation between fan rotation number and wind mass flow.

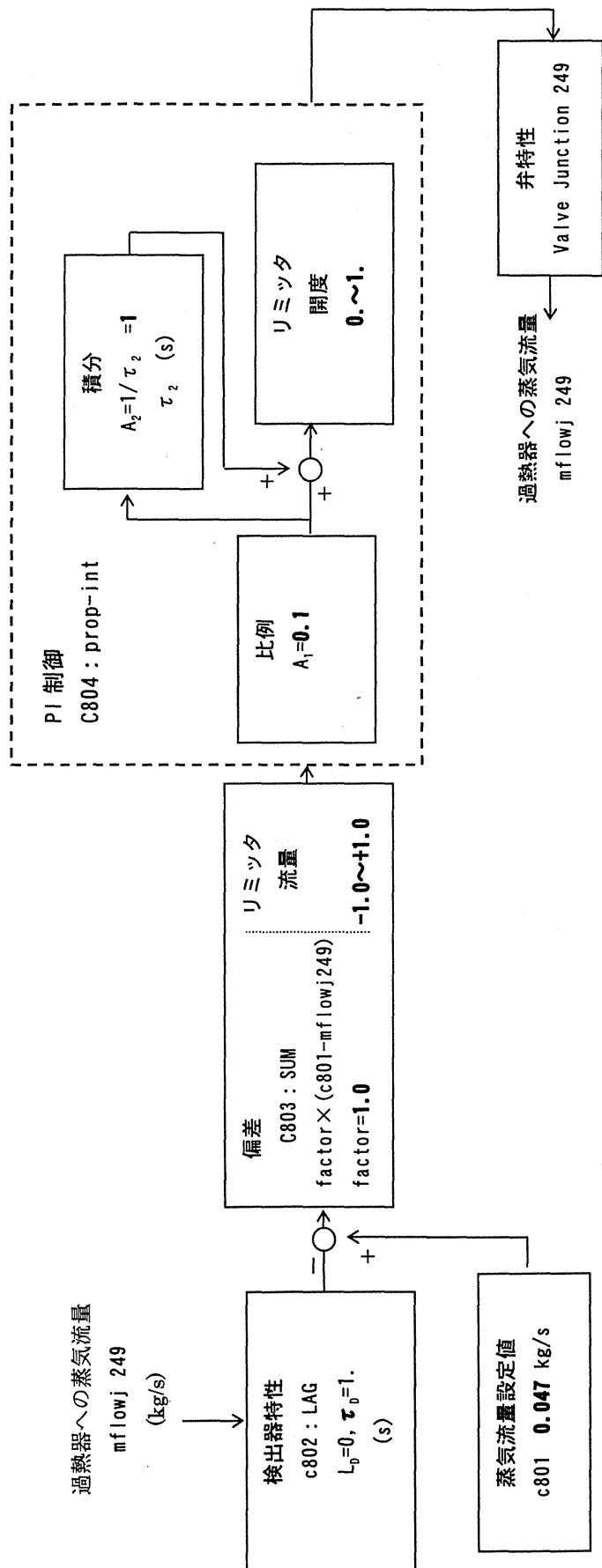


Fig.A.7 Analysis model of steam flow control system.

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジユール	J	N·m
工率、放熱束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トント	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf	圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	0.101972	0.224809		1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	9.80665	1	2.20462	力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	4.44822	0.453592	1		0.101325	1.03323	1	760	14.6959
粘度	1 Pa·s(N·s/m ²)	= 10 P(ポアズ)(g/(cm·s))			1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
動粘度	1 m ² /s	= 10 ⁴ St(ストークス)(cm ² /s)			6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻¹⁹	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置を用いた動特性解析」
の検証—蒸気発生器及び放熱器を用いた2次ヘリウムガス冷却システム（受託研究）

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています