

高温ガス炉水素製造システム

動特性解析コードのプログラミング及び試解析作業

仕様書

目 次

I 一般仕様

1. 件名	1
2. 目的及び概要	1
3. 作業実施場所	1
4. 納期	1
5. 作業内容	1
6. 試験・検査	2
7. 業務に必要な資格等	2
8. 支給物品及び貸与品	2
9. 提出書類	2
10. 検収条件	2
11. 適用法規・規程等	2
12. 特記事項	3
13. 総括責任者	3
14. 検査員及び監督員	3
15. 産業財産権等	3
16. グリーン購入法の推進	3
17. 協議	3
18. その他	3

II 技術仕様

1. コード設計	4
2. コード改良方針	5
3. プログラミング及び試解析	5
4. 報告書の作成	5
参考文献	6

添付資料

- 別添 図 1 高温ガス炉水素製造システムの系統概念図の例
別添 図 2 RELAP コードと HAMBAC コードの取合い境界
別添 図 3 RELAP5 コードーHAMBAC コード間の取合い情報

I. 一般仕様

1. 件名

高温ガス炉水素製造システム動特性解析コードのプログラミング及び試解析作業

2. 目的及び概要

本仕様書は、日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）エネルギー研究開発領域高温ガス炉プロジェクト推進室H T T R－熱利用試験準備グループが行うプラントシミュレータの整備作業を受注者に請け負わせるための仕様を定めたものである。

原子力機構では、H T T R－熱利用試験及び将来的な高温ガス炉-水素製造システムの試験計画の立案のため、プラント過渡挙動を評価可能なプラントシミュレータの整備を進めている。これまで、高温ガス炉特有のヘリウム熱流動に係る評価モデルを追加した RELAP5/MOD3 コード（以下「RELAP5 コード」という。）と水素製造施設に設置する水蒸気改質器での化学反応を考慮した熱物質収支解析コード HAMBAC（以下「HAMBAC コード」という。）の連成解析コードシステム（以下「接続コード」という。）を構築した。接続コードは、流れ方向に質量流量が一定と仮定した基礎方程式の使用、同時に取り扱える非凝縮性ガス数の制約から、プラントの起動停止時や配管破断等に伴う流れ場の変動を適切に評価できない課題があった。そこで、昨年度はコード設計を行い、接続コードの移流評価に係る基礎方程式の改良方針の作成、同時に扱うことができる非凝縮性ガス種類数を 10 種類に増加させるコード改良作業を行った。

本作業では、昨年度作成した接続コードの基礎方程式の改良方針を受けた RELAP5-HAMBAC 接続コードの改良作業、異常事象による流体の逆流等を評価するための RELAP5-HAMBAC 接続コードの改良作業、そのほかコードのデバッグ作業及び試解析を行う。

3. 作業実施場所

受注者側実施施設

4. 納期

令和 8 年 3 月 18 日（水）

5. 作業内容

- (1) コード改良
- (2) 試解析
- (3) 報告書の作成

6. 試験・検査

該当なし

7. 業務に必要な資格等

該当なし

8. 支給品及び貸与品

(1) 支給品

なし

(2) 貸与品

- ・RELAP5-HAMBAC 接続コードのソースファイル
- ・RELAP5-HAMBAC 接続コードの関連資料
- ・試解析用データ
- ・移流評価に係る基礎方程式に関する接続コードの改良方針に係る資料

9. 提出図書

- | | | |
|--|--------------|-----|
| (1) 工程表 | 契約後速やかに | 2 部 |
| (2) 情報セキュリティに関わる書類 | 契約後速やかに | 1 部 |
| (資本関係及び役員情報、本契約の実施場所、従事者の所属・専門性（情報セキュリティに関わる資格・研修等）、実績及び国籍についての情報を記すこと。) | | |
| (3) 委任又は下請負届（原子力機構指定様式） | 作業開始 2 週間前まで | 1 部 |
| (4) 報告書（A4 バインダー製本） | 期間内 | 3 部 |
| (5) 報告書、マニュアル、新たに追加したソースコード及び試解析の入出力データを収めた電子記憶媒体 | 期間内 | 1 式 |
| (報告書及び報告書に用いた図面の編集可能な電子ファイルを含めること。) | | |

提出先：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

エネルギー研究開発領域 高温ガス炉プロジェクト推進室

H T T R－熱利用試験準備グループ（大洗駐在）

10. 検収条件

「9. 提出図書」に定める提出品が全て提出され、仕様書に従い作業が実施されていることを原子力機構が確認した時をもって検収とする。

11. 適用法規・規定等

なし

12. 特記事項

なし

13. 総括責任者

なし

14. 検査員及び監督員

検査員

(1) 一般検査 管財担当課長

監督員

(1) 高温ガス炉プロジェクト推進室 H T T R－熱利用試験準備グループ員

15. 産業財産権等

該当なし

16. グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、O A機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様に定める提出図書（納入印刷物）は、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

17. 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項に関して疑義が生じた場合は、原子力機構と協議のうえ、その決定に従うものとする。

18. その他

- ・ 受注者は発注者と緊密な連絡を取りつつ作業を行うこと。原子力機構が必要と認めた場合には随時技術打ち合わせを行うこと。
- ・ 受注者は原子力機構から貸与される技術情報を第三者に提供するときには、事前に原子力機構の承認を得なければならない。
- ・ 貸与品（使用許可品）に関しては本契約以外での使用は、受注者が予め書面による許可を求め、原子力機構の承認を得なければならない。

II. 技術仕様

本作業では、原子力機構が貸与する RELAP5-HAMBAC 接続コード一式のソースファイルを用いること。なお、RELAP5-HAMBAC 接続コードでは、ヘリウム熱交換型水蒸気改質器の熱物質収支解析コード HAMBAC コード及び軽水炉の過渡解析が可能な RELAP5 コードが接続され、高温ガス炉水素製造システムにおいて、ヘリウム熱を用いた水蒸気改質反応の計算が可能である。

図 1 に高温ガス炉水素製造システムの系統概念図を示す。水素製造を実施する水蒸気改質器は、高温ガス炉の熱を用いて水素を製造する反応器である。この触媒層では、化学反応によって熱物質収支が変化するため、過渡解析を実施するにあたり、化学反応速度を考慮した計算が HAMBAC コードにて実施される。図 2 に改質器取合い境界、図 3 に取合い情報を示す。改質器へ接続される配管内の流体情報は、RELAP5 コードにて解析が行われる。改質器出入口にて、圧力、温度、流量及び組成を HAMBAC コードと取り合うことでデータの接続がなされる。水蒸気改質器では、反応に使用される原料ガスや生成ガスの他、起動停止に使用される窒素ガス、さらには反応器を加熱するためのヘリウムガスが流れる。

1. コード改良

接続コードを対象に、基礎方程式の改良作業、組成の変化や逆流を含めた流量の授受の改良作業及び非凝縮性ガス割合が大きい場合やリスタート計算を行った場合に生じる意図しない計算エラーに関するデバッグ作業を行う。

1.1 基礎方程式の改良

接続コードのうち、HAMBAC コードの基礎方程式の変更に伴うコード改良を行う。本作業は、原子力機構が貸与する HAMBAC コードの基礎方程式の変更に係るコード改良方針書に基づく。

- ・ 半陰解法に基づき基礎方程式を解くサブルーチンの改良
- ・ 入出力ファイルに係るサブルーチンの改良
- ・ リスタート計算に係るサブルーチンの改良
- ・ 接続に係るサブルーチンの改良

半陰解法の計算フロー図を図 4 に示す。

1.2 配管破損等の異常事象を想定した流体の混入や逆流の評価のための改良

接続コードのうち、配管破損等の異常事象を想定した流体の混入や逆流の評価のためのコード改良を行う。また、改良したプログラムのデバック入出力の結果を示し、計算式による計算結果と一致することの確認等によって、改良した結果の妥当性を確認すること。

(1) RELAP5-HAMBAC 接続コードで取り扱えるガス種の増加

HAMBAC コードにおいて、ヘリウムガス流路へのプロセスガスの混入や、プロセス

ガス流路へのヘリウムガスの混入を評価できるように、ヘリウムガス流路において取り扱えるガスの種類を 1 種類（ヘリウムガス）から 21 種類に、プロセスガス流路において取り扱えるガスの種類を 20 種類から 21 種類（ヘリウムガスを追加）に増やす。追加するガス種は表 1 に示す。

また、RELAP5 コードと HAMBAC コードの間で相互に受け渡すことができるガス組成を、ヘリウムガス流路において 1 種類（ヘリウムガス）から 11 種類に、プロセスガス流路において 10 種類から 11 種類（ヘリウムガスを追加）に増やす。追加するガス種は表 2 に示す。

(2) コード間の流量の受け渡し処理の改良

HAMBAC コード及び RELAP5 コード間において、順流（流量が正）の場合のみならず、逆流（流量が負）の場合においても、上流側の流量を下流側に受け渡すことができるよう改良する。また、逆流の場合にも、レイノルズ数を絶対値で算出することができるよう改良する。

(3) 臨界流モデルの追加

HAMBAC コードには原子力機構が指定する臨界流モデルを組み込み、入力データにおいて臨界流モデルの適用を選択できるようにする。

1.2 デバッグ作業

(1) 非凝縮性ガス割合が大きい場合に生じるエラーの解消

本作業は、水蒸気改質器内の 2 次側を流れるメタンガス及び水蒸気の混合ガスを模擬した非凝縮ガス割合（ncqual）が下記の場合に、ボリュームに対して流体の初期条件の設定が不適切な場合に生じるエラーによって計算が停止するため、その原因を究明して解消する。

- ・ 計算開始時に一定以上の場合
- ・ 計算途中に変動した場合

(2) リスタート計算時における結果の一時的な揺らぎの解消

本作業は、ある計算終了時刻から遡って同じ条件でリスタート計算を行った場合に、計算結果が一致しないエラーの原因を究明し、それを解消する。

具体的には、新規計算から所定の時間まで継続して計算した結果には揺らぎが観測されない。一方、新規計算から所定の時間の途中で計算を一度やめて、そこからリスタート計算を行って所定の時間まで計算した結果には、リスタート計算開始直後に計算結果の揺らぎが観測される。そのため、この揺らぎを解消する。

2. 試解析

「1. コード改良」を反映した接続コードを用いて、試解析を行い、コード改良が適切に反映され、求める計算機能を果たすことを確認する。

試解析で用いる解析モデルは、炉外技術開発試験装置の起動停止時の試験を模擬した解析モデルである。試解析で用いる代表ケースの入力ファイルは原子力機構が貸与する。代表ケースの入力ファイルを基に解析条件を変更し、以下の 11 ケースの解析を行い、「1. コード改良」における改良点ごとにその機能の検証を行う。試解析(1)から(5)において、「1.コード改良」に伴うコード改良以外の要因で解析結果の発散または解析エラーが生じた場合は、その原因を分析し、改良方針を検討する。

(1) 代表ケース (1 ケース)

原子力機構が貸与する入力ファイルを用いた解析を行う。解析結果は炉外技術開発試験の計測データと比較することで検証する。検証の過程は報告書に記載する。

なお、試解析の条件及び炉外技術開発試験の計測データは原子力機構が提示する。

(2) 配管破断を模擬したケース (1 ケース)

代表ケース(1)を基に、起動後の流量条件が一定の状態から水蒸気改質器の原料ガス側の配管が瞬時に破断し、原料ガス及び水蒸気が流れる系と空気の系が接続することで、原料ガス側の圧力が大気圧近傍まで低下する事象を対象に解析を行う。解析結果において、配管破断に伴い系全体の圧力、流量及びガス組成が変動する過程が発散することなく観測できることを確認する。また、「1.1 基礎方程式の改良」において実施した改良が正しく行われていることを検証する。検証の過程は報告書に記載する。

(3) 触媒管破断を模擬したケース (3 ケース)

代表ケース(1)を基に、起動後の流量条件が一定の状態から水蒸気改質器触媒管が瞬時に破断し、原料ガス及び水蒸気が流れる系とヘリウムガスが流れる系が接続する事象を対象に解析を行う。破断部面積はパラメータとする。解析結果において、触媒管破断に伴い系全体の圧力、流量及びガス組成が変動する過程が発散することなく観測できることを確認する。また、「1.1 基礎方程式の改良」において実施した改良が正しく行われていることを検証する。検証の過程は報告書に記載する。

(4) 非凝縮性ガス割合を変化させた解析 (5 ケース)

代表ケース(1)を基に、非凝縮性ガス割合を 0 から 1 まで変化させた 5 ケースの解析を行い、全てのケースにおいて、計算終了時刻までボリューム内の流体の圧力が発散する等のエラーによって計算が停止しないことを確認する。

(5) リスタート解析 (1 ケース)

代表ケース(1)を対象に、解析条件を変更せずに途中からリスタート計算を行うケースの解析を行い、リスタート計算を行った場合の計算結果の揺らぎがないこと、リスタート計算を行わないケース(1)と比較し、計算結果が一致することを確認する。

3. 報告書の作成

前項までの作業内容をまとめた報告書を作成する。報告書の文章は Microsoft Word、図面

については Microsoft Excel（いずれも Windows 版）、あるいは同等互換のあるソフトで作成すること。また、報告書を収めた電子記憶媒体には、以下の内容をまとめた接続コードのマニュアルを報告書と別のファイルとして収めること。

- ① 接続コードにおける RELAP5 コードや HAMBAC コード等の取合いを表したコード体系図
- ② 接続コードのプログラムツリー
- ③ 接続コードにおける RELAP5 コードと HAMBAC コードの計算時間同期（進行）方法を表した概念図
- ④ 接続コードの使用方法や入力ファイル及び出力ファイルを説明したマニュアル
- ⑤ 接続コードで新たに追加した入力データをまとめた表
- ⑥ 接続コードで新たに追加したプログラムのソースコード
- ⑦ 接続コードに新たに追加したサブルーチンの名称及び機能をまとめた表
- ⑧ RELAP5 コード及び HAMBAC コードのサブルーチンのうち、本作業において変更したものに関して、プログラムの変更内容をまとめた図又は表
- ⑨ RELAP5 コード及び HAMBAC コード間で取り合うデータをまとめた表
- ⑩ 試解析の検証結果

参考文献

- [1] 稲葉良知 他「HTTR 熱利用系炉外技術開発試験 熱物質収支解析コードの開発」JAERI-Data/Code 99-009 (1999)
- [2] 大橋弘史 他「天然ガスの二酸化炭素改質反応に関する研究」JAERI-Research 2000-058 (2000)

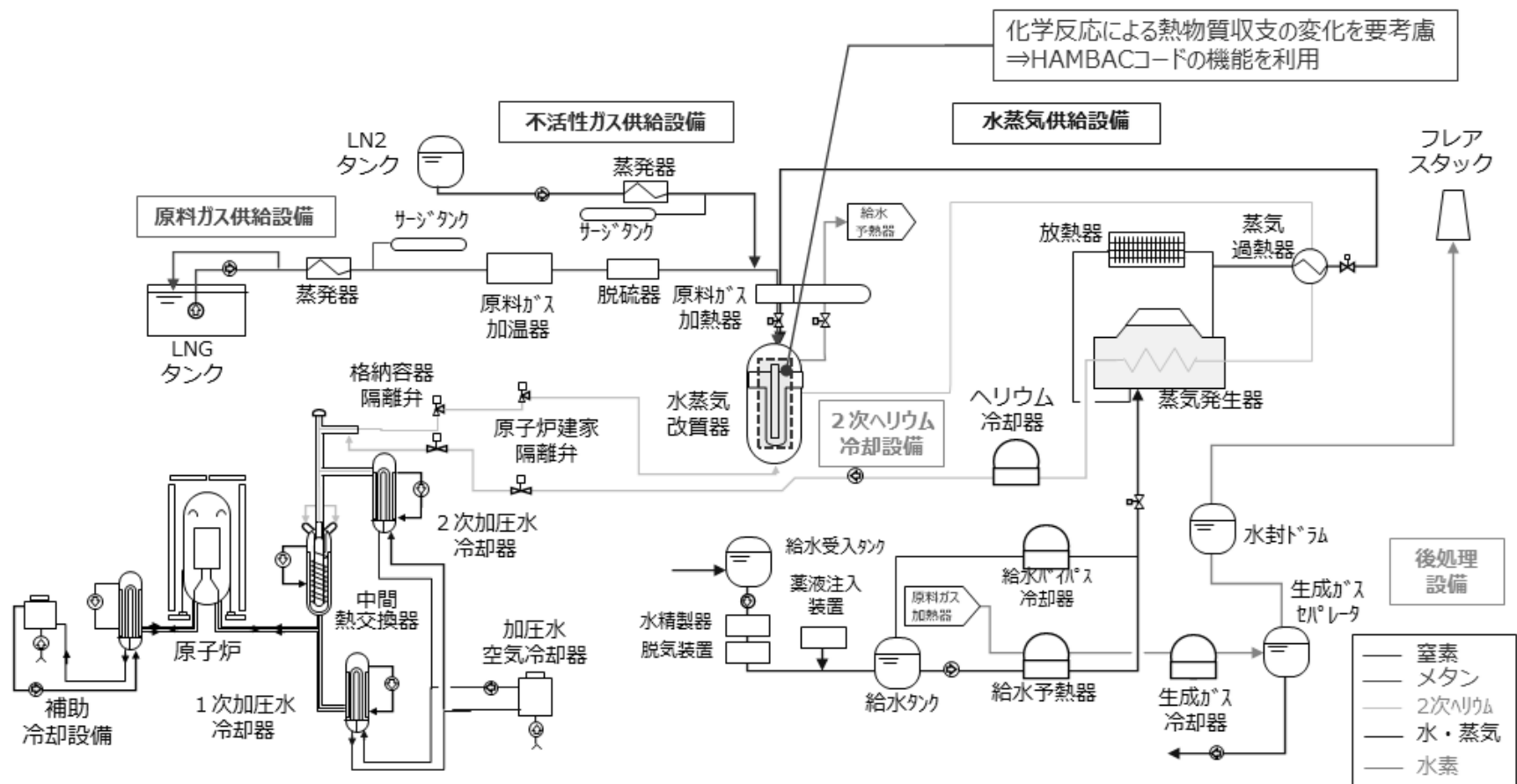


図1 高温ガス炉水素製造システムの系統概念図の例

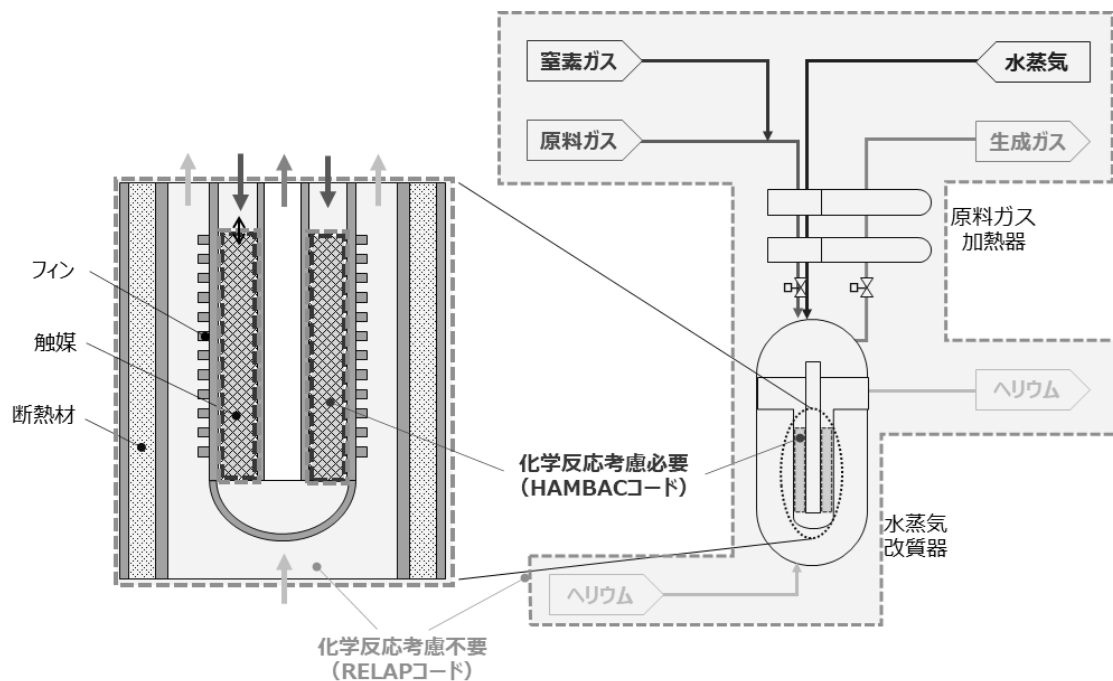


図2 RELAPコードとHAMBACコードの取合い境界

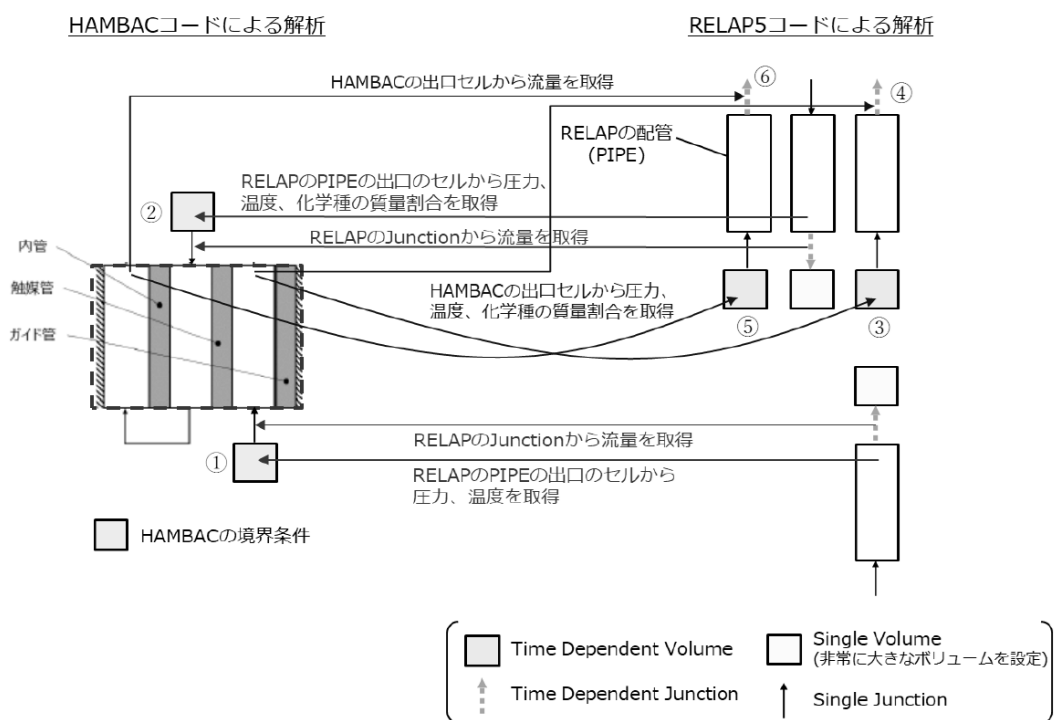


図3 RELAP5コード-HAMBACコード間の取合い情報

○1step 中の計算の流れ

半陰解法にて実装を行う場合の 1step 中の処理の流れを図 3.21 に示す。

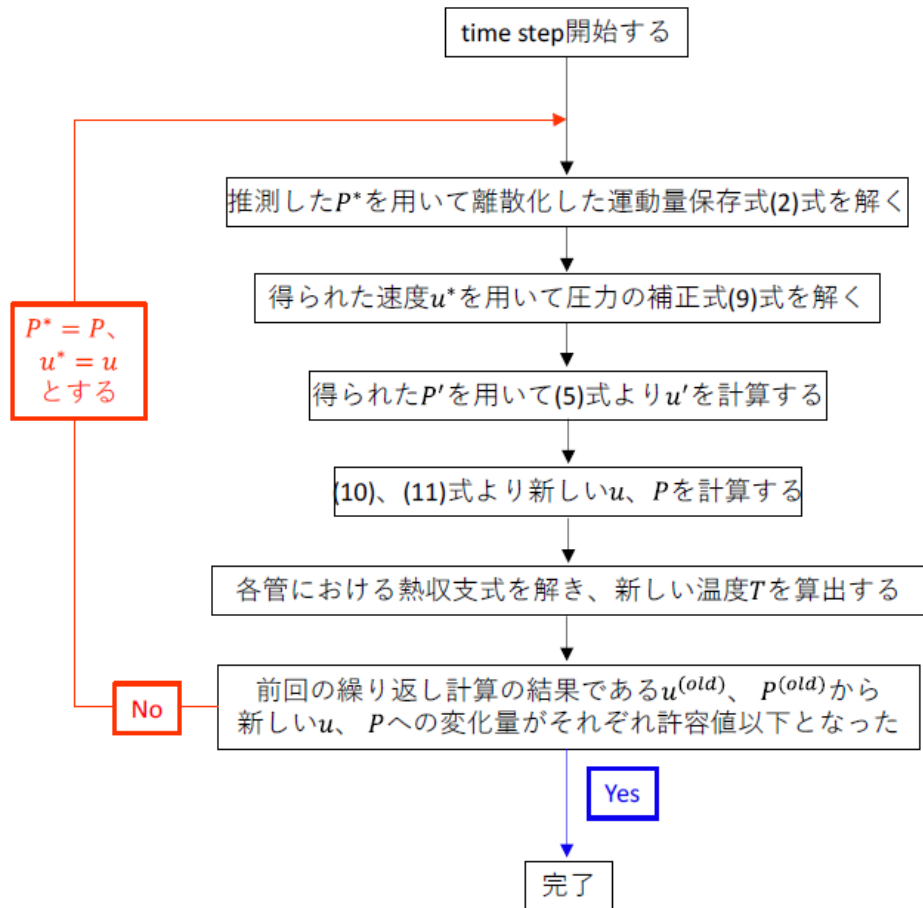


図 4 半陰解法にて実装を行う 1step 内の圧力、温度計算のフロー

表 1 改良後の HAMBAC コードにおいて取り扱うガス種

番号	ガス種	番号	ガス種	番号	ガス種
1	H ₂	8	C ₃ H ₆	15	N-C ₅ H ₁₂
2	CO	9	I-C ₄ H ₁₀	16	1,3-C ₄ H ₆
3	CH ₄	10	N-C ₄ H ₁₀	17	I-C ₆ H ₁₄
4	CO ₂	11	1-C ₄ H ₈	18	N-C ₆ H ₁₄
5	C ₂ H ₆	12	T-2-C ₄ H ₆	19	H ₂ O
6	C ₂ H ₄	13	C-2-C ₄ H ₈	20	N ₂
7	C ₃ H ₈	14	I-C ₅ -H ₁₂	21	He

表 2 改良後に RELAP5 コードと HAMBAC コードの間で受け渡しを行うガス種

番号	ガス種	番号	ガス種
1	H ₂	7	C ₂ H ₆
2	CO	8	C ₂ H ₄
3	CH ₄	9	C ₃ H ₈
4	CO ₂	10	C ₃ H ₆
5	H ₂ O	11	He
6	N ₂		

情報セキュリティ強化に係る特約条項

受注者（以下「乙」という。）は、本契約の履行に当たり、情報セキュリティの強化のため、契約条項記載の情報セキュリティに係る遵守事項に加え、以下に特約する内容を遵守するものとする。

（情報セキュリティインシデント発生時の対処方法及び報告手順）

第1条 乙は、情報セキュリティインシデントが発生した際の対処方法（受注業務を一時中断することを含む。）及び発注者（以下「甲」という。）に報告する手順について整備しておかなければならない。

（情報セキュリティ強化のための遵守事項）

第2条 乙は、次の各号に掲げる事項を遵守するほか、甲の情報セキュリティ強化のために、甲が必要な指示を行ったときは、その指示に従わなければならない。

- (1) この契約の業務を実施する場所を、情報セキュリティを確保できる場所に限定し、それ以外の場所で作業をさせないこと。
- (2) 業務担当者に遵守すべき情報セキュリティ対策について教育・訓練等を受講させるとともに、業務担当者には甲の情報セキュリティ確保に不断に取り組み、甲の情報及び情報システムの保護に危険を及ぼす行為をしないよう誓約させること。また、業務担当者の異動・退職等の際には異動・退職後も守秘義務を負うことを誓約させ、これを遵守させること。
- (3) 暗号化を要する場合は、「電子政府推奨暗号リスト」に記載された暗号化方式を実装し、暗号鍵を適切に管理すること。
- (4) 甲の承諾のない限り、この契約に関して知り得た情報を受注した業務の遂行以外の目的で利用しないこと。
- (5) 甲が提供する情報を取り扱う情報システムへの不正アクセスを検知・抑止するために、ログを取得・監視し全ての業務担当者についてシステム操作履歴を取得すること。
- (6) 甲が提供する情報を格納する装置、機器、記録媒体及び紙媒体について、業務担当者のみがアクセスできるよう施錠管理や入退室管理を行い、セキュアな記録媒体の使用や使用を想定しないUSBポートの無効化、機器等の廃棄時・再利用時のデータ抹消など想定外の情報利用を防止すること。
- (7) 情報システムの変更に係る検知機能やログ解析機能を実装し、外部ネットワークへの接続を伴う非ローカルの運用管理セッションの確立時には、多要素主体認証を要求するとともに定期的及び重大な脆弱性の公表時に脆弱性スキャンを実施し、適時の脆弱性対策を行うこと。

- (8) システムの欠陥の是正及び脆弱性対策について、対策計画を策定し実施するとともに、システムの欠陥の是正及び脆弱性対策等の情報セキュリティ対策が有効に機能していることの継続的な監視と確認を行うこと。
- (9) 委任をし、又は下請負をさせた場合は、当該委任又は下請負を受けた者に対して、業務担当者が遵守すべき情報セキュリティ対策についての教育・訓練等を行うこと。
- (10) 契約条項に基づき甲が乙に対して行う情報セキュリティ対策の実施状況についての監査の結果、情報セキュリティ対策の履行が不十分である場合には、甲と協議の上改善を行い、甲の承諾を得ること。
- (11) 契約の履行期間を通じて前各号に示す情報セキュリティ対策が適切に実施されたことの報告を含む検収を受けること。また、本契約の履行に関し、甲から提供を受けた情報を含め、本契約において取り扱った情報の返却、廃棄又は抹消を行うこと。