

電磁場解析技術開発に関する
信号処理機能の高度化作業

引 合 仕 様 書

令和8年 5月

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
大洗原子力工学研究所 高速炉研究開発部
ナトリウム機器技術開発グループ

1. 一般仕様

1.1 件名

電磁場解析技術開発に関する信号処理機能の高度化作業

1.2 目的

高速炉実証炉の検査技術開発として、電磁超音波探傷技術（EMAT）及び渦電流探傷技術（ECT）の高度化を進めている。本件はその一部として、試験で取得した信号に対して、幾何音響計算を用いた信号処理機能や、機械学習を適用した信号分析機能の高度化を図るものである。

令和7年度は、EMAT信号データを用いた幾何音響計算手法及び可視化表示手法、ECT信号データの機械学習に必要なデータ分析、欠陥判定手法や前処理手法について検討を実施した。令和8年度は前年度の結果を踏まえた高度化作業として、EMATでは幾何音響計算手法のシステム化、更なる高度化検討、ECTでは信号分析機能の予測精度と利便性の向上を図る。

なお、本件は、経済産業省からの受託である「令和5年度高速炉実証炉開発事業（基盤整備と技術開発）」の一環として実施するものである。

1.3 契約範囲

- (1) 機械学習を適用した ECT 信号分析機能の高度化
- (2) 幾何音響計算を用いた EMAT 信号処理機能の高度化
- (3) 作業報告書の作成

1.4 提出図書

- | | |
|-----------------------------|----|
| (1) 実施計画書（契約後速やかに） | 1部 |
| (2) 作業工程表（契約後速やかに） | 1部 |
| (3) 品質保証計画書（契約後速やかに） | 1部 |
| (4) 打合せ議事録（打合せ後速やかに） | 1部 |
| (5) 報告書（作業終了後速やかに） | 1式 |
| (6) 作成データ（作業終了後速やかに） | 1式 |
| (7) 委任又は下請負の承認等について（機構指定様式） | 1部 |

※下請負がある場合、作業着手前に提出すること。

* (5) 報告書は、受注者フォーマットで可。(6) 作成データは、電子ファイル（作業に用いた電子ファイル一式含む）を提出する。記録媒体は CD、DVD 等とする。

1.5 納期

令和 9 年 3 月 19 日（金）

1.6 納入場所

福井県敦賀市白木 1 丁目 日本原子力研究開発機構
敦賀事業本部 敦賀総合研究開発センター 研究棟

1.7 検収条件

1.3 に定める作業の完了、1.4 に定める提出図書類の完納をもって検収するものとする。

1.8 貸与品

- (1) 高度化検討に使用する探傷信号データ
- (2) 機械学習に使用する PC に設置するグラフィックボード

1.9 検査員

- (1) 一般検査： 管財担当課長
- (2) 技術検査： 大洗原子力工学研究所 高速炉研究開発部
ナトリウム機器技術開発グループ員

1.10 品質管理

- (1) 受注者は、本件に係る品質管理プロセスを含む品質保証計画書を原子力機構に提出し、その確認を得ること。受注者は、受注者の品質保証計画書を遵守して、本仕様書に定められた作業を行うこと。また、受注者が作業の一部を下請会社等に外注する場合、品質に関する要求事項が下請会社等にまで確実に適用されていること。
- (2) 受注者は、契約期間中に品質保証計画書を変更した時及び不適合が発生した際に原子力機構からの要求があった場合には、立入調査及び監査に応じるものとする。

1.11 グリーン購入法の推進等

- (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に関する法律）に該当する環境物品（事務用品、OA 機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様書に定める提出図書（納入印刷物）については、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。

1.12 産業財産権等

産業財産権等の取扱いについては、知的財産権特約条項に定められたとおりとする。

1.13 機密の保持

受注者は、本業務の実施にあたり、知り得た情報を厳重に管理し、本業務遂行以外の目的で、受注者及び下請会社等の作業員を除く第三者への開示、提供を行ってはならない。

1.14 協議

当該作業を実施する上で疑義が生じた場合は、日本原子力研究開発機構（以下「機構」という）と協議の上、その決定に従うものとする。決定事項は、受注者が議事録を作成し、機構の確認を得ること。

1.15 特記事項

- (1) 納入物件の所有権および著作権、その他技術情報に関わるものの権利は、機構に帰属するものとする。
- (2) 受注者は、本契約により新たに発生し、また機構により開示した情報等に付加させた情報（但し、受注者が引合い前から自己所有していた情報を除く。以下「成果情報」）の機密を保ち、第三者に漏洩しないよう適切な措置を講じなければならない。
- (3) 成果情報の外部発表もしくは公開、又は第三者への公開は行わないこととする。但し、機構の文書による承認を得た場合はこの限りではない。
- (4) 貸与情報および成果情報の目的外使用を禁止する。
- (5) 貸与情報および成果情報の第三者使用を禁止する。
- (6) 受注者は貸与情報および成果情報の機密保持の義務を負う。
- (7) 契約終了後は、貸与物件・情報の返還後、諸データ類の消去義務を負う。機構外持ち出しを承認された電子物件・電子成果情報については、完全に消去されたことを確認できるエビデンスを示すこと。

2. 技術仕様

2.1 概要

高速炉実証炉の検査技術開発において、蒸気発生器伝熱管の検査のための渦電流探傷技術（ECT）では機械学習を適用した信号分析機能、原子炉容器の検査のための電磁超音波探傷技術（EMAT）では幾何音響計算を用いた信号処理機能の高度化作業を実施する。

(1) 機械学習を適用した ECT 信号分析機能の高度化

ECT で得られる信号データをもとに欠陥の位置や種類の判定を効率よく行うために機械学習の技術を応用（適用）することにより、欠陥の判定を定量的、かつ高精度に実施可能か検討を行った。その検討結果をもとに今年度は機械学習モデルの作成、適用手法の性能評価を実施する。

(2) 幾何音響計算を用いた EMAT 信号処理機能の高度化

EMAT で得られる信号データに対して、幾何音響計算を用いたレイトレーシング(以下、レイトレ)技術を用いた欠陥の有無、サイジングに関する信号処理機能の高度化について、簡易形状試験体を使用して検討を実施した。その検討結果をもとに今年度はシステムの構築、更なる高度化を図るための信号処理手法の検討を実施する。

2.2 作業内容

(1)機械学習を適用した ECT 信号分析機能の高度化

ECT 信号データを学習させ、欠陥の有無や欠陥の種類を判定するための機械学習モデルを作成する。

なお、フィルタ処理によるノイズ除去の信号処理方法については機構で実施し、学習に必要な信号データはフィルタ処理前、処理後の両方を機構から提供する。ただし、提供可能なサンプル数が少ないことから、受注者側で既存のデータに操作を加えて人工的にデータを生成する方法で対応することとする。

① 機械学習モデルの作成

ECT 信号データに対し、機械学習モデルの精度向上や学習の効率化のための前処理を施し、得られたデータを元に機械学習モデルを作成する。作成するモデルはデータに応じて適切な機械学習手法を選択することとし、既存モデルを利用する場合は再学習手法（ファインチューニングや転移学習等）も考慮する。

予測精度を向上させるために機械学習モデルの学習前に手動で設定するハイパーパラメータの最適化を図る。

作成する機械学習モデルは欠陥の種類（スリット、スリット+サポート、局部

減肉、局部減肉+サポート、全周減肉、全周減肉+サポート、サポートのみ、無欠陥部等) がラベル付けされた ECT 信号データ(CH1+CH2)から作成した特徴量データを教師データとして学習し、ラベルのないデータに対して欠陥の判定が可能なものとする。

② 機械学習モデルの性能評価

ECT 信号データのうち、学習に使用したデータを除いたテスト用データを用いて、作成した機械学習モデルの性能評価を行う。評価項目(予測精度、過学習の有無、予測にかかる時間等)は機構と協議を行ったうえで確定し実施する。

(2)幾何音響計算を用いた EMAT 信号処理機能の高度化

検査対象である支持構造物試験体の形状モデル(ジオメトリデータ、サーフェスマッシュデータ)を作成し、EMAT の設置位置、送受信角度、構造物内部での超音波の広がりなどの情報から、伝播経路をレイトレ計算により推定し、EMAT 信号データをレイトレ計算結果に反映することで、高精度な欠陥位置の表示、欠陥のサイジングを行うシステムを製作、システムの更なる高度化検討を実施する。

なお、実施内容については、適宜機構担当者への報告・協議等を行い、確認を得ながら進める。

① システム設計

機構より別途提示する資料や、機構担当者との打合せに基づき、開発するシステムの要件定義および詳細設計を実施する。システムの要求事項は次の通り。

- (a) 支持構造物試験体等の形状モデル(ジオメトリデータ、サーフェスマッシュデータ)を読み込めること。
- (b) 読み込んだ形状モデルデータと EMAT の設置位置、送受信角度、構造物内部での超音波(弾性波)の性質、広がりなどの情報から、伝播経路をレイトレ計算により推定できること。
- (c) EMAT 信号データをレイトレ計算結果に反映することで、2D 断面(XY 平面、YZ 平面、XZ 平面)にて高精度な欠陥位置の表示、欠陥のサイジングができること。

② プログラミング

設計内容に基づいてシステムのプログラミング作業を行う。システムの実行環境は、Windows とする。作成に使用するプログラミング言語は問わない。

③ テスト作業

製作したシステムについて、内部テストや実地テストを行い、システムが問題なく動作することや、要求事項を満足していることを確認する。

④ 性能評価

テスト結果を基に、システムの欠陥検出精度、サイジング精度といった性能の評価を行う。評価項目および判定基準は機構と協議を行ったうえで確定し実施する。

⑤ システムの更なる高度化検討

(a) 計算の高精度化：計算アルゴリズムの改良や並列化等による計算の高精度化や高速化

(b) 計算および評価手法の高度化：複雑な形状の支持構造物試験体（単一材料）における斜角での超音波のレイトレ計算（エッジ、コーナー部）について検討する。また、複数ポイントによる欠陥までの時間のレイトレ計算で欠陥の大きさの特定ができるのか確認する。

(c) 計算モデルの高度化：レイトレの反射方向について形状モデル(メッシュ)の補間による反射方向の高精度化を検討する。

簡易形状試験体または支持構造物試験体に欠陥のメッシュをモデル化し、送信から受信までの経路のレイトレ計算において、音波の伝搬、反射、縦波・横波といった弾性波に関する各種物理モデルの取り入れを検討し、受信 EMAT 側に到達する音波の強度を推定する。

(3) 作業報告書の作成

2.2(1)、(2)で実施した内容をまとめて報告書を作成し、提出する。報告書には作成したシステムの使用マニュアル等を含めること。

2.3 特記事項

(1) 打合せの実施

定期的に打合せを実施し、作業の進捗状況を機構に報告する。また、作業を実施する上で課題が発生した場合は、速やかに機構と協議を行う。

打合せの内容については、受注者が議事録を作成し、機構の確認を得ることとする。

知的財産権特約条項

(知的財産権の範囲)

第1条 この特約条項において「知的財産権」とは、次の各号に掲げるものをいう。

- (1) 特許法(昭和34年法律第121号)に規定する特許権(以下「特許権」という。)、
実用新案法(昭和34年法律第123号)に規定する実用新案権(以下「実用新案権」
という。)、意匠法(昭和34年法律第125号)に規定する意匠権(以下「意匠権」と
いう。)、半導体集積回路の回路配置に関する法律(昭和60年法律第43号)に規定す
る回路配置利用権(以下「回路配置利用権」という。)、種苗法(平成10年法律第83
号)に規定する育成者権(以下「育成者権」という。)及び外国における上記各権利に相
当する権利(以下「産業財産権等」と総称する。)
 - (2) 特許法に規定する特許を受ける権利、実用新案法に規定する実用新案登録を受ける
権利、意匠法に規定する意匠登録を受ける権利、半導体集積回路の回路配置に関する法
律第3条第1項に規定する回路配置利用権の設定の登録を受ける権利、種苗法第3条に
規定する品種登録を受ける地位及び外国における上記各権利に相当する権利(以下「産
業財産権等を受ける権利」と総称する。)
 - (3) 著作権法(昭和45年法律第48号)に規定するプログラムの著作物及びデータベ
ースの著作物(以下「プログラム等」という。)の著作権並びに外国における上記各権利
に相当する権利(以下「プログラム等の著作権」と総称する。)
 - (4) コンテンツの創造、保護及び活用の促進に関する法律(平成16年法律第81号)に
規定するコンテンツで甲が本契約において制作を委託するコンテンツ(以下「コンテ
ンツ」という。)の著作権(以下「コンテンツの著作権」という。)
 - (5) 前各号に掲げる権利の対象とならない技術情報のうち秘匿することが可能なもので
あって、かつ、財産的価値のあるものの中から、甲、乙協議の上、特に指定するもの(以
下「ノウハウ」という。)を使用する権利
- 2 この特約条項において、「発明等」とは、特許権の対象となるものについては発明、実用
新案権の対象となるものについては考案、意匠権、回路配置利用権及びプログラム等の
著作権の対象となるものについては創作、育成者権の対象となるものについては育成並
びにノウハウを使用する権利の対象となるものについては案出をいう。
- 3 この特約条項において知的財産権の「実施」とは、特許法第2条第3項に定める行為、
実用新案法第2条第3項に定める行為、意匠法第2条第3項に定める行為、半導体集積
回路の回路配置に関する法律第2条第3項に定める行為、種苗法第2条第5項に定める
行為、プログラム等の著作権については著作権法第2条第1項第15号及び同項第19
号に定める行為、コンテンツの著作権については著作権法第2条第1項第7の2号、第
9の5号、第11号にいう翻案、第15号、第16号、第17号、第18号及び第19
号に定める行為並びにノウハウの使用をいう。

(乙が単独で行った発明等の知的財産権の帰属)

第2条 本契約に関して、乙単独で発明等を行ったときは、甲は、乙が次の各号のいずれの規定も遵守することを書面で甲に届け出た場合、当該発明等に係る知的財産権を乙から譲り受けないものとする。(以下、乙に単独に帰属する知的財産権を「単独知的財産権」という。)

(1) 乙は、本契約に係る発明等を行ったときは、遅滞なく次条の規定により、甲にその旨を報告する。

(2) 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。

(3) 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を第三者に許諾する。

(4) 乙は、甲以外の第三者に委託業務の成果にかかる知的財産権の移転又は専用実施権(仮専用実施権を含む。)若しくは専用利用権の設定その他日本国内において排他的に実施する権利の設定若しくは移転の承諾(以下「専用実施権等の設定等」という。)をするときは、合併又は分割により移転する場合及び次のイからハまでに規定する場合を除き、あらかじめ甲に通知し、承認を受けなければならない。

イ 乙が株式会社である場合、乙がその子会社(会社法(平成17年法律第86号)第2条第3号に規定する子会社をいう。)又は親会社(同法第4号に規定する親会社をいう。)に移転又は専用実施権等の設定等をする場合

ロ 乙が承認TLO(大学等における技術に関する研究成果の民間事業者への移転の促進に関する法律(平成10年法律第52号)第4条第1項の承認を受けた者(同法第5条第1項の変更の承認を受けた者を含む。))又は認定TLO(同法第12条第1項又は同法第13条第1項の認定を受けた者)に移転又は専用実施権等の設定等をする場合

ハ 乙が技術研究組合である場合、乙がその組合員に移転又は専用実施権等の設定等をする場合

2 甲は、乙が前項に規定する書面を提出しない場合、乙から当該知的財産権を無償で(第7条に規定する費用を除く。)譲り受けるものとする。

3 乙は、第1項の書面を提出したにもかかわらず同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、かつ満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合、当該知的財産権を無償で甲に譲り渡さなければならない。

(知的財産権の報告)

- 第3条 乙は、本契約に係る産業財産権等の出願又は申請をするときは、あらかじめ出願又は申請に際して提出すべき書類の写しを添えて甲に通知しなければならない。
- 2 乙は、前項に係る国内の特許出願、実用新案登録出願、意匠登録出願を行う場合は、特許法施行規則第23条第6項及び同規則様式26備考24等を参考にし、当該出願書類に国の委託事業に係る研究の成果による出願であることを表示しなければならない。
- 3 乙は、第1項に係る産業財産権等の出願又は申請に関して設定の登録等を受けた場合には、設定の登録等の日から30日以内に、甲に文書により通知しなければならない。
- 4 乙は、本契約に係るプログラム等又はコンテンツが得られた場合には、著作物が完成した日から30日以内に、甲に文書により通知しなければならない。
- 5 乙は、単独知的財産権を自ら実施したとき、及び第三者にその実施を許諾したとき（ただし、第5条第2項に規定する場合を除く。）は、甲に文書により通知しなければならない。

(単独知的財産権の移転)

- 第4条 乙は、単独知的財産権を甲以外の第三者に移転する場合には、当該移転を行う前に、その旨を甲に文書で提出し、承認を受けなければならない。ただし、合併又は分割により移転する場合及び第2条第1項第4号イからハまでに定める場合には、当該移転の事実を文書より甲に通知するものとする。
- 2 乙は、前項のいずれの場合にも、第2条、前条、次条及び第6条の規定を準用すること、並びに甲以外の者に当該知的財産権を移転するとき又は専用実施権等を設定等するときは、あらかじめ甲の承認を受けることを当該第三者と約定させ、かつ、第2条第1項に規定する書面を甲に提出させなければならない。

(単独知的財産権の実施許諾)

- 第5条 乙は、単独知的財産権について甲以外の第三者に実施を許諾する場合には、甲に文書により通知しなければならない。また、第2条の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者と約定しなければならない。
- 2 乙は、単独知的財産権に関し、甲以外の第三者に専用実施権等の設定等を行う場合には、当該設定等を行う前に、文書により甲及び国の承認を受けなければならない。ただし、第2条第1項第4号イからハまでに定める場合には、当該専用実施権等設定の事実を文書により甲に通知するものとする。
- 3 甲は、単独知的財産権を無償で自ら試験又は研究のために実施することができる。甲が甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に再実施権を許諾する場合は、乙の承諾を得た上で許諾するものとし、その実施条件等は甲、乙協議の上決定する。

(単独知的財産権の放棄)

第6条 乙は、単独知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、その旨を甲に報告しなければならない。

(単独知的財産権の管理)

第7条 甲は、第2条第2項の規定により乙から単独知的財産権又は当該知的財産権を受け権利を譲り受けたときは、乙に対し、乙が当該権利を譲り渡すときまでに負担した当該知的財産権の出願又は申請、審査請求及び権利の成立に係る登録までに必要な手続に要したすべての費用を支払うものとする。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の帰属)

第8条 本契約に関して、甲及び乙が共同で発明等を行ったときは、当該発明等に係る知的財産権は甲及び乙の共有とする。ただし、乙は、次の各号のいずれの規定も遵守することを書面で甲に届け出なければならない。(以下、甲と乙が共有する知的財産権を「共有知的財産権」という。)

(1) 当該知的財産権の出願等権利の成立に係る登録までに必要な手続は乙が行い、第3条の規定により、甲にその旨を報告する。

(2) 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。

(3) 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとして、その理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を第三者に許諾する。

2 甲は、乙が前項で規定する書面を提出しない場合、乙から当該知的財産権のうち乙が所有する部分を無償で譲り受けるものとする。

3 乙は、第1項の書面を提出したにもかかわらず同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、さらに満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合、当該知的財産権のうち乙が所有する部分を無償で甲に譲り渡さなければならない。

(共有知的財産権の移転)

第9条 甲及び乙は、共有知的財産権のうち自らが所有する部分を相手方以外の第三者に移転する場合には、当該移転を行う前に、その旨を相手方に通知して文書による同意を得なければならない。

(共有知的財産権の実施許諾)

第10条 甲及び乙は、共有知的財産権について第三者に実施を許諾する場合には、あらかじめ相手方に通知して文書による同意を得なければならない。

(共有知的財産権の実施)

第11条 甲は、共有知的財産権を試験又は研究以外の目的に実施しないものとする。ただし、甲は甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に実施許諾する場合は、無償で当該第三者に実施許諾することができるものとする。

2 乙が共有知的財産権について自ら商業的实施をするときは、甲が自ら商業的实施をしないことにかんがみ、乙の商業的实施の計画を勘案し、事前に実施料等について甲、乙協議の上、別途実施契約を締結するものとする。

(共有知的財産権の放棄)

第12条 甲及び乙は、共有知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、その旨を相手方に通知して文書による同意を得なければならない。

(共有知的財産権の管理)

第13条 共有知的財産権に係る出願等を甲、乙共同で行う場合、共同出願契約を締結するとともに、出願等権利の成立に係る登録までに必要な費用は、当該知的財産権に係る甲及び乙の持分に応じて負担するものとする。

(知的財産権の帰属の例外)

第14条 本契約の目的として作成される提出書類、プログラム等及びその他コンテンツ等の納品物に係る著作権は、すべて甲に帰属する。

2 第2条第2項及び第3項並びに第8条第2項及び第3項の規定により著作権を乙から甲に譲渡する場合、又は前項の納品物に係る著作権の場合において、当該著作物を乙が自ら創作したときは、乙は、著作者人格権を行使しないものとし、当該著作物を乙以外の第三者が創作したときは、乙は、当該第三者が著作者人格権を行使しないように必要な措置を講じるものとする。

(秘密の保持)

第15条 甲及び乙は、第2条及び第8条の発明等の内容を出願公開等により内容が公開される日まで他に漏えいしてはならない。ただし、あらかじめ書面により出願申請を行った者の了解を得た場合はこの限りではない。

(委任・下請負)

第16条 乙は、本契約の全部又は一部を第三者に委任し、又は請け負わせた場合においては、当該第三者に対して本特約条項の各条項の規定を準用するものとし、乙はこのために必要な措置を講じなければならない。

2 乙は、前項の当該第三者が本特約条項に定める事項に違反した場合には、甲に対し全ての責任を負うものとする。

(協議)

第17条 第2条及び第8条の場合において、単独若しくは共同の区別又は共同の範囲等について疑義が生じたときは、甲、乙協議して定めるものとする。

(有効期間)

第18条 本特約条項の有効期限は、本契約締結の日から当該知的財産権の消滅する日までとする。