

2018年度 委託研究

課題 198

次世代ウィンドプロファイラの
実用化に向けた研究開発

研究計画書



1. 研究開発課題

『次世代ウィンドプロファイラの実用化に向けた研究開発』

2. 本課題が含まれる研究開発の全体像

はじめに

国立研究開発法人情報通信研究機構（以下、「機構」という。）は、機構自ら行う研究（以下、「自主研究」という。）や委託研究などを効果的に連携させながら、機構に与えられた中長期目標[1]の達成を目指している。本課題はこのような連携の一部となる研究であるため、研究開発プロジェクト（以下、「プロジェクト」という。）の全体像について十分に理解したうえでの研究提案や実施が求められる。プロジェクトは、プロジェクトオフィサー及び機構職員で構成されるプロジェクトチームによりマネジメントされる。

2. 1 プロジェクトの目的・ビジョン

ウィンドプロファイラ（以下、「WPR」という。）は、晴天域における風速 3 成分（鉛直方向、東西方向、南北方向）の高度プロファイルを測定するレーダーである。日本・欧州・オーストラリア等では WPR の風速観測網が構築されており、WPR による風速観測データが気象業務に利用されている[2]。現在、ゲリラ豪雨などの局地的かつ極端な気象現象を早期に把握し、さらに予測するニーズが高まっている。このニーズに応えるためには、優れた観測分解能と測定データ品質で気象現象を観測する手段が必要である。また、近年ますます重要性を増す航空輸送の安全確保には、乱気流の発生を精度良く観測する手段が必要である。しかし、現在の WPR には観測分解能と測定データ品質における制約が存在する。現在の WPR における高度分解能と時間分解能はそれぞれ通常数 100m、1 分程度であるため、風の細かな変動や乱気流の発生を十分に観測できない。また、樹木・車両・航空機・鳥などによる不要なエコー（クラッタ）が受信信号に混入することにより、測定データの品質が低下する問題がある。

機構では、従来の WPR よりも観測分解能と測定データ品質を向上させた、次世代 WPR の研究開発に取り組んでいる。次世代 WPR では、局地的な気象現象による風の細かな変動や乱気流の発生が把握できる、最高数 10m の高度分解能と 10 秒以下の時間分解能を実現する。また、クラッタの影響を低減することにより、鉛直スケール 100m 以下、時間スケール 1 分以下の局地的かつ短時間で変化する気象状態の把握と予測に使用できる測定データ品質を達成する。優れた観測分解能と測定データ品質を有する次世代 WPR が気象業務における観測手段として将来活用されることで、安心・安全な社会の実現に寄与することが期待される。

次世代 WPR における観測性能を達成する技術として、高度分解能を向上する技術であるレンジイメージング（以下、「RIM」という。）と、クラッタの低減により測定データ品質を向上する技術であるアダプティブクラッタ抑圧（以下、「ACS」という。）がある。RIM と ACS は、研究用途の大気レーダーを用いた技術開発が進められてきた[3]。しかし、気象業務に使用される WPR における RIM と ACS の活用例はない。機構が取り組む次世代 WPR の研究開発では、既設の WPR のハードウェアを活用して次世代 WPR の設置費用を下げることで、次世代 WPR

が社会に広く利用されることを目指している。これまでに、既設の WPR に RIM 及び ACS 機能を実装するとともに、RIM 及び ACS が有用であることが示されている[4, 5]。次世代 WPR の開発は、その実用化に向けた性能評価と実証実験に取り組むべき段階にある。

2. 2 社会的な背景・国内外の状況

気象状態の詳細な把握と予測は、安心・安全な社会の実現に寄与する防災・減災のほか、電力・交通などの社会インフラの安定な運用にも不可欠である。そのため、気象状態を優れた分解能と精度で観測できる次世代 WPR の実現が求められている。学術研究において、マルチパラメータ気象レーダー、フェーズドアレイ気象レーダー、雲レーダー、ドップラーライダー、ビデオゾンデ、WPR 等を用いたマルチセンサ観測により、ゲリラ豪雨や梅雨期線上対流系集中豪雨のメカニズム理解の深化・さらなる早期探知化と定量化・予防拡大に向けた試みが進められている[6]。この学術研究においては、積乱雲を生成する大気境界層内の上昇流を捉えるために、RIM 機能を持つ WPR が使用されている。

WPR による風速測定データの品質確保は、気象業務における長年の課題である。風速測定データの品質確保を達成する手段である ACS は、気象業務機関及び WPR を製作する企業からの強い関心を得ている。ACS は、複数のサブアレイ（アンテナ）を用いた適応信号処理によりクラッタを低減する。そのため、WPR における ACS の技術開発は、フェーズドアレイ気象レーダーによる測定データ品質向上の技術開発における波及効果が期待される。国際的にも、気象業務における WPR の活用がさらに広がる動きがある。国際標準化機構（ISO）による WPR の標準化に向けた規格策定が、2017 年度より開始されている。国際的な面からも、次世代 WPR の研究開発による観測技術の発展が必要とされている。

本プロジェクトは、内閣府による第 5 期科学技術基本計画[7]で掲げられた、“経済・社会的な課題への対応”と“人材、知、資金の好循環システムの構築”及び機構の中長期計画における取り組みである“リモートセンシング技術”に関連する。

2. 3 プロジェクトの概要

本プロジェクトは、本委託研究・自主研究・標準化に向けた取り組みに大別される(図 1 参照)。本委託研究は、次世代 WPR における新技術のうち、速やかな実用化のニーズがあり、かつ既設 WPR に対する機能の実装が容易な ACS の研究開発を実施する。ACS は WPR の送信部を変更することなく、受信部に関する変更のみによりその機能が実現できる。そのため、気象業務に使用されている既設の WPR に対する ACS 機能の実装が容易である。さらに、本委託研究の成果に基づく ACS の実用化により既設の WPR における取得データ品質が向上することは、WPR を用いた気象業務における気象現象の把握・予測精度の向上を速やかに実現するうえで有用である。

自主研究では、本委託研究よりさらに進んだ実用化を目指した研究開発を実施する。自主研究では、次世代 WPR における観測分解能の向上を目的に、高度分解能を向上させる RIM と、角度（水平）分解能を向上させるコヒーレントレーダーイメージング（CRI）の技術開発に取り組む。さらに、航空気象における乱気流の早期検出や、フェーズドアレイ気象レーダー、雲レーダー、ライダー等と次世代 WPR を併用したマルチセンサ観測によるゲリラ豪雨などの局地的極端気象

現象の早期検出などの新たなアプリケーションの創出に取り組む。RIMに関する技術的検討は進んでいるため、RIMに関する性能評価と並行してRIMを活用した新たなアプリケーション創出に取り組むことで、RIMの実用化を目指す。CRIの技術開発により、次世代WPRにおける角度方向の分解能を1°以下に向上させる。さらに、RIMとCRIを併用することで、小スケールで発生する乱気流や風速変動の要因を解像し、さらにその生成要因を解明することで、新たなアプリケーションにおける次世代WPRの風速・乱気流の観測が有用かつ妥当であることを示す。

本委託研究は、測定データ品質の向上と速やかな実用化を目指している。また、自主研究は、本委託研究よりさらに進んだ実用化を目指した観測分解能の向上と新たなアプリケーションの創出に取り組む。そのため、本委託研究の研究成果を取り入れることで、自主研究のさらなる発展が実現できる。本委託研究と自主研究の連携により、社会に広く利用される次世代WPRを実現する。

標準化に向けた取り組みであるISO規格の策定では、本委託研究及び自主研究の成果を取り入れることで、WPRに関する最先端技術が気象業務に活用されることを目指す。

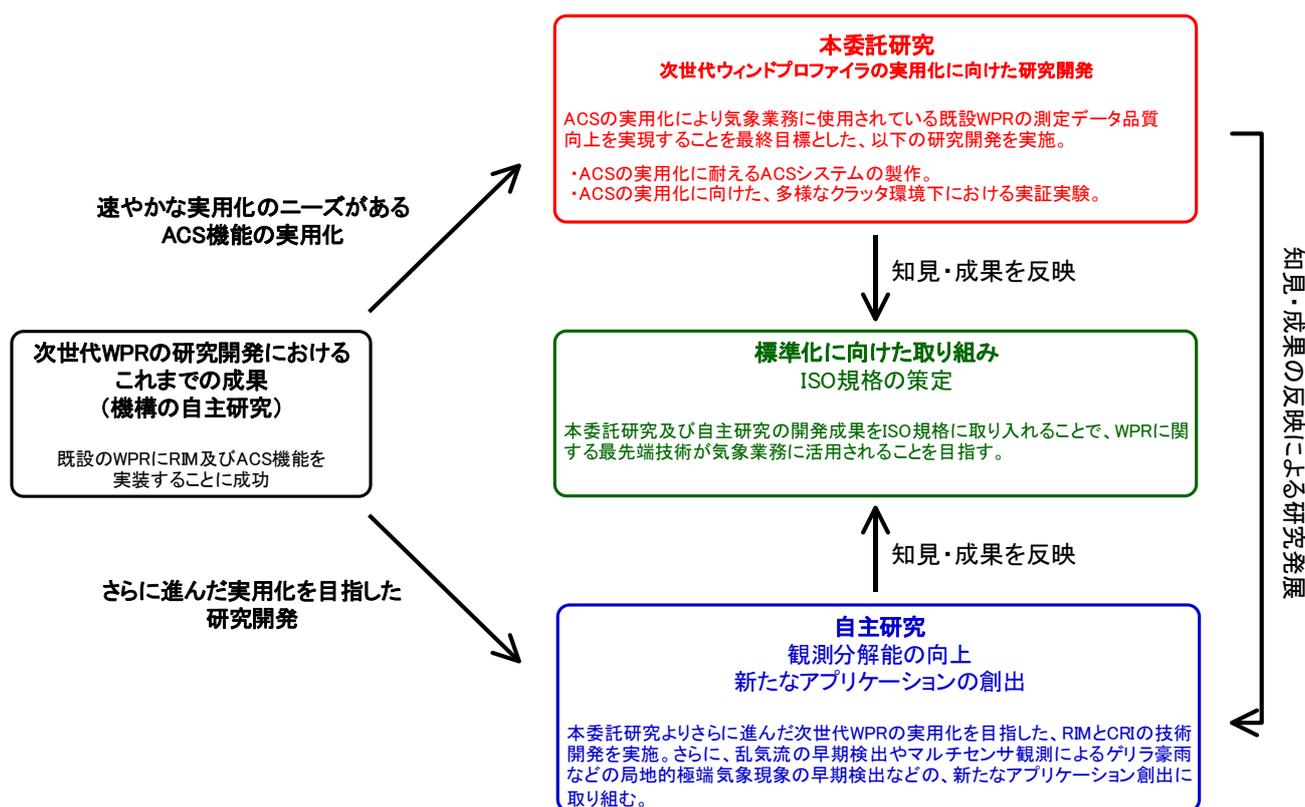


図 1：次世代 WPR の研究開発における本委託研究の位置づけ

2. 4 プロジェクトオフィサー

電磁波研究所リモートセンシング研究室 主任研究員 山本真之

3. 本委託研究

3. 1 概要及び位置付け

本委託研究では、ACS システムの製作と実証実験を実施する。図 2 に、本委託研究の実施スケジュールを示す。2018 年度から 2019 年度にかけて、本委託研究で使用する ACS システム等の機材を製作する。また、2019 年度から 2020 年度にかけて、実証実験を実施する。

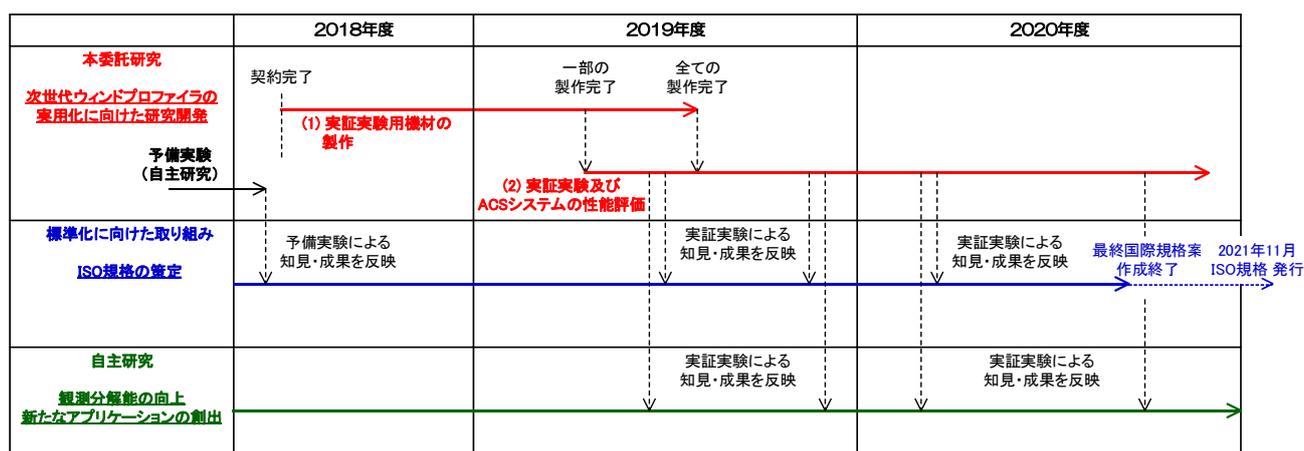


図 2：本委託研究の実施スケジュール

1) 実証実験用機材の製作

- ACS システムを製作する。図 3 に ACS システムの概要を示す。ACS システムは、アナログ処理を行うサブアレイ受信機と、デジタル処理を行う信号処理装置で構成される。ACS システムは、機構が有するウィンドプロファイラである LQ-13[4]に接続する。LQ-13 を使用した ACS システムの性能評価においては、サブアレイ受信機と信号処理装置の両方を用いる。サブアレイ受信機を使用することで、クラッタ受信用サブアレイ及び LQ-13 の主アンテナを構成するサブアレイ（以下、「主アンテナ用サブアレイ」という。）からの信号を受信する。信号処理装置を使用することで、受信信号をデジタル化する。さらに、リアルタイムでのデジタル処理（デジタル直交検波、送信パルス幅に応じた周波数フィルタリング、位相変調パルス圧縮の復号、受信信号の時間積分（平均）処理）及び測定データのハードディスクへの保存を行う。
 多様なクラッタ環境下における ACS の性能評価を目的とした実証実験においては、LQ-13 以外の WPR を使用する。この実証実験においては、サブアレイ受信機のみを用いる。サブアレイ受信機を使用することで、クラッタ受信用サブアレイから信号を受信する。受信信号のデジタル化及びリアルタイムでのデータ処理には、機構が開発した ACS 用多チャンネル受信機[4]（以下、「機構のデジタル受信機」という。）を使用する。
- クラッタの受信を目的として WPR の周辺に設置する、クラッタ受信用サブアレイを作成する。

- 実証実験及び ACS システムの評価に必要な機材を製作する。
- LQ-13 を用いた ACS システムの性能評価と実証実験を実施することを目的に、本委託研究の実施期間中において LQ-13 が所望の性能を発揮するために必要となる各部の動作確認・部品交換・送信及び受信位相の較正等の調整を実施する。確実に委託研究を実施するため、2018 年度に調整を実施することが望ましい。

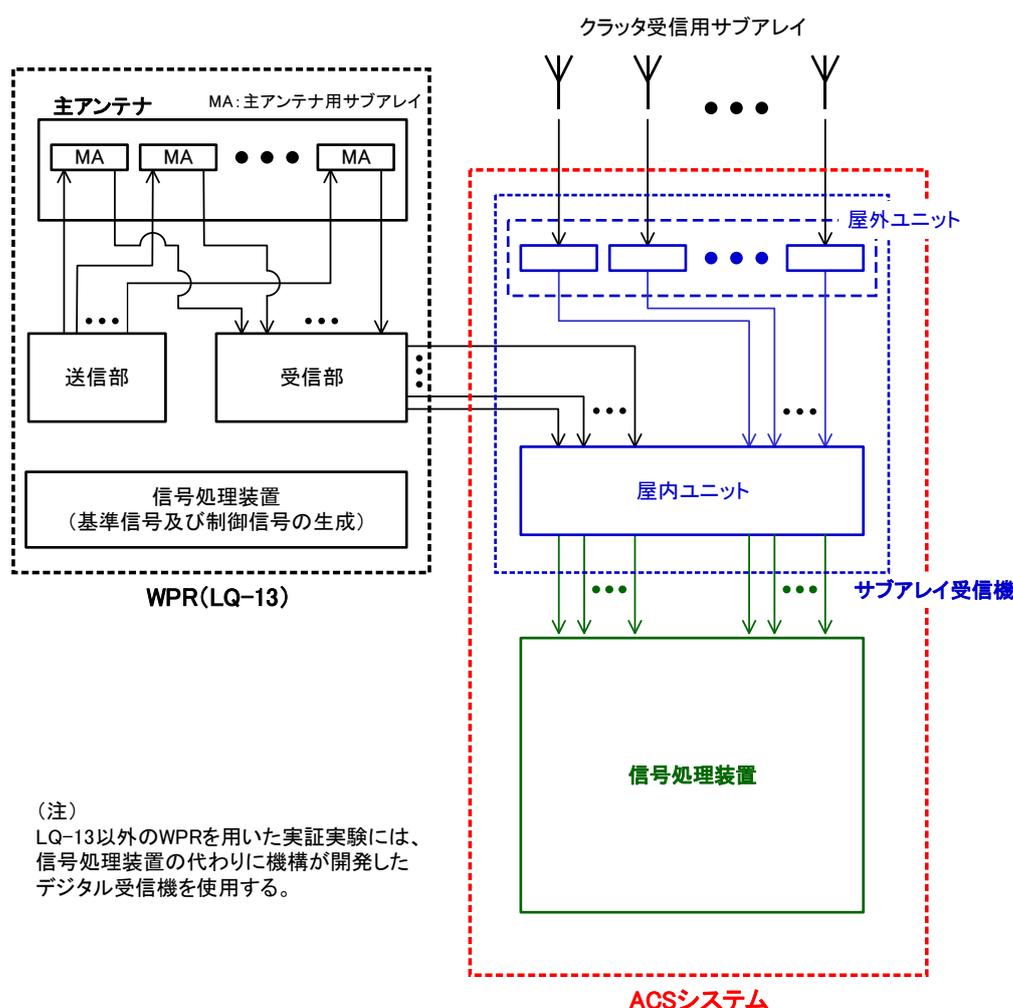


図 3 : ACS システムの概要

2) 実証実験及び ACS システムの性能評価

a. 実証実験

LQ-13 以外の WPR を使い、LQ-13 と異なる場所における実証実験を行うことで、多様なクラッタ環境下における ACS の性能評価を行う。実証実験においては、使用する機材の輸送と設置、実証実験の実施、機構への機材の返送と再設置、及び実証実験における測定結果を用いた ACS 性能の評価を行う。

b. ACS システムの性能評価

ACS システムの性能評価を実施する。ACS システムの性能評価には、クラッタ受信用サブアレイを用いた評価に加え、主アンテナ用サブアレイを用いた評価を含む。実験結果を基にした ACS システムの改善も併せて実施する。ACS システムの性能評価のため、LQ-13 が所望の性能を発揮するために必要となる調整も併せて実施する。

3. 2 到達目標

1) 実証実験用機材の製作

- 12 個以上の屋外ユニットを製作する。24 以上の受信チャンネル数を有する屋内ユニットを製作する。デジタル処理において高速動作が要求される部分を FPGA (field-programmable gate array) 等のハードウェアを用いて処理することで、24 以上の受信チャンネル数と長期運用に耐える信頼性を持つ信号処理装置を製作する。
- クラッタの発生源は、地表にある樹木・車両などのほか、空中に存在する鳥や飛行機など多岐にわたる。クラッタの持つ多様な特性を考慮したクラッタ抑圧用サブアレイを製作する。
- LQ-13 以外の WPR にサブアレイ受信機及び機構のデジタル受信機を接続するために必要となる接続インタフェースを製作する。また、機構のデジタル受信機を用いた ACS システムの動作確認に必要な機材を製作する。

2) 実証実験及び ACS システムの性能評価

a. 実証実験

- LQ-13 以外の WPR に ACS 機能を付加することで、従来の手法ではクラッタの混入のため検出できなかった大気エコーが検出できることを実証する。実例を示すクラッタ源として、地表付近に存在する固定物と移動体の双方を対象とする。
- 主要なクラッタ（樹木・車両・飛翔物）におけるクラッタ抑圧性能を、クラッタの受信強度低減により定量化する。クラッタの抑圧性能として、クラッタ抑圧用サブアレイの主ビーム方向に存在するクラッタの受信強度を 5dB 以上低減することを目標とする。クラッタの抑圧性能は、WPR の主アンテナで受信されるクラッタの受信強度・クラッタ抑圧用サブアレイのビームパターン・使用するクラッタ抑圧用サブアレイの数、ACS に用いる適応信号処理の制御パラメータに大きく依存する。クラッタの抑圧性能に与えるこれらの要因についても、評価を行うこと。評価方法として、例えば、指向性の異なるクラッタ抑圧用サブアレイ（指向性がある八木アンテナと無指向性のダイポールアンテナあるいはコリニアアンテナ）を用いた比較実験がある。また、ACS における適応信号処理に用いるクラッタ抑圧用サブアレイ数や、制御パラメータを変更した検討がある。

b. ACS システムの性能評価

- 主アンテナ用サブアレイから得られる受信信号を用いた ACS を行うことで、クラッタの混入のため検出できなかった大気エコーが検出できることを実証する。実例を示す

クラッタ源として、地表付近に存在する固定物と移動体の双方を対象とする。

- 主アンテナ用サブアレイを ACS に使用する場合と使用しない場合を比較し、クラッタ抑圧性能の差を定量化する。クラッタの抑圧性能として、主アンテナ用サブアレイを ACS に使用した場合にクラッタの受信強度を 5dB 以上低減することを目標とする。さらに、クラッタの抑圧性能に与える要因についても、実証実験と同様に評価を行うこと。主アンテナ用サブアレイを ACS に使用する場合は、主アンテナのビーム形状変化が大気乱流や風速の測定に影響を与える可能性がある。この点についても、評価を行うこと。さらに、定量化により、将来開発される WPR が主アンテナ用サブアレイを用いる ACS 機能を有することに、コスト対効果があるかを評価すること。
- 本委託研究の終了後に ACS 機能を持つ WPR が製品化できるよう、ACS システムの製品化に求められる性能と機能を示す。

3. 3 マイルストーン

- 本委託研究の最終的な到達目標は、ACS 機能を持つ WPR から得られる高品質の風速測定データが気象業務機関において活用されることで、気象業務機関から提供される気象予報等を利用する一般市民の安心・安全な生活に貢献することである。そのため、本委託研究の成果を基に、国内外の気象業務機関における ACS 機能を持つ WPR の導入に向けた提案活動が、速やかに実施されることを期待する。
- 本委託研究の成果を、次世代 WPR を用いた新たなアプリケーション創出につなげることを期待する。次世代 WPR のユーザである航空気象や気象予報を実施する諸機関、次世代 WPR を製作する企業、学術研究成果の応用を目指す大学や研究機関などの新たな産学官連携が、本委託研究及び機構が取り組む自主研究の進展とともに立ち上がることを期待する。
- 本委託研究と同時期に進められる ISO 規格の策定では、WPR に関する最新の技術である RIM や ACS などが反映されることが期待される。本委託研究と機構が取り組む自主研究で得られた成果を基に、ISO 規格に記載された最新の技術を活用した WPR の製品化が進むことを期待する。

3. 4 採択件数、期間及び予算等

採択件数 : 1 件

研究開発期間: 契約締結日から 2020 年度までの 3 年間

研究開発予算: 各年度、以下の金額(税込)を上限とする。

2018 年度: 75 百万円

2019 年度: 100 百万円

2020 年度: 25 百万円

ただし、提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。

研究開発体制: 単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

3. 5 提案に当たっての留意点

- 本委託研究が成果の社会実装を目標としていることに留意すること。特に、製品化された WPR を用いた ACS システムの性能評価及び実証実験を行う点に留意すること。
- 実証実験に使用する LQ-13 以外の WPR の調達方法がわかるよう、調達方法についての具体的な記載を行うこと。
- 機構が参加する標準化に向けた取り組み（ISO 規格の策定）・機構の自主研究（次世代 WPR の観測分解能の向上及び新たなアプリケーション創出）・本委託研究は相補的であり、これらを併せて実施することで次世代 WPR の開発における相乗効果を得ることを目指している。本委託研究の位置付けを意識した提案を実施すること。
- 具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、3. 3 に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、方策等を記載すること。
- 本研究開発の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。公開できるであろう科学的なデータの有無、及び、もし有る場合には公開計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法）を提案書に記載すること。

3. 6 運営管理

- 機構と受託者の連携を図るため、プロジェクトオフィサーが定期的開催する連絡調整会議に参加すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間の連絡調整会議を定期的開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサーが委託研究プランを変更する場合があるので、留意すること。

3. 7 評価

- 機構は、2020 年度に終了評価を実施する。また、委託研究終了後に追跡評価（成果展開等状況調査を含む）を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

3. 8 成果の社会実装に向けた取組

- 本委託研究で得られた成果のオープン化を行うなど、成果の社会実装に向けて必要な取組を行うこと。
- 将来において国際的に WPR が広く利用されるためには、本委託研究に加え、ISO 規格の策定と機構の自主研究も重要である。本委託研究・ISO 規格の策定・機構の自主研究の同時実施による相乗効果が得られるよう、必要な協力を行うこと。

4. 参考

- [1] <http://www.nict.go.jp/about/plan.html>
- [2] Volker Lehmann, Overview on wind profiler networks worldwide and review of impact results, 6th Workshop on the Impact of Various Observing Systems on NWP, Shanghai, China, 10-13 May 2016.
https://www.wmo.int/pages/prog/www/WIGOS-WIS/reports/6NWP_Shanghai2016/WMO6-Impact-workshop_Shanghai-May2016.html
- [3] Yamamoto, M. K., New observations by wind profiling radars, in Doppler Radar Observations - Weather Radar, Wind Profiler, Ionospheric Radar, and Other Advanced Applications, J. Bech and J. L. Chau eds., InTech, Rijeka, Croatia, pp.247-270, doi:10.5772/37140, 2012.
- [4] Yamamoto, M. K., T. Fujita, Noor Hafizah Binti Abdul Aziz, T. Gan, H. Hashiguchi, T.-Y. Yu, and M. Yamamoto, Development of a digital receiver for range imaging atmospheric radar, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 118, pp. 35-44, doi:10.1016/j.jastp.2013.08.023, 2014.
- [5] Yamamoto, M. K., S. Kawamura, and K. Nishimura, Facility implementation of adaptive clutter suppression to an existing wind profiler radar: First result, IEICE Communications Express, 6(9), pp. 513-518, doi:10.1587/comex.2017XBL0075, 2017.
- [6] <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-15H05765/>
- [7] <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>