

SICORP e-ASIA共同研究プログラム  
先端融合領域「電力のためのインテリジェントインフラストラクチャ」分野  
事後評価報告書

1 共同研究課題名

「e-Asia 諸国における拡張可能型のクラスターに基づくエネルギーインフラの研究」

2 研究代表者(研究機関名・職名は研究期間終了時点)

代表者・日本チーム研究リーダー

中西 要祐(早稲田大学 大学院環境・エネルギー研究科・教授)

副代表者・タイチーム研究リーダー

ウドム レウンファイザル(国立電子コンピュータ技術研究センター 自動電子技術研究部・部長)

副代表者・フィリピンチーム研究リーダー

ノエル エストペレス(ミンダナオ州立大学イリガン校 工学部・教授)

副代表者・インドネシアチーム研究リーダー

アブラハム ロミ(マラン工科大学 工学部・教授)

3 研究概要及び達成目標

3.1 領域「先端融合」

SICORP e-ASIA 共同研究プログラムの先端融合領域(Advanced Interdisciplinary Approach toward Innovation)では、先端技術融合の研究を行うための原動力として、インテリジェントな社会インフラを副題に e-ASIA 創設当初より掲げて現在に至っている。

ここではインテリジェントな社会インフラの構築に、次の3つの技術が本質であるとしている。第1にその地域の実世界(自然環境および社会環境)を観測して仮想世界上にモデル化する技術である。第2に仮想世界上のシミュレーションでそのモデルを最適化する技術である。第3に仮想世界上の最適解を実世界に実装する技術である。第1のモデル化技術の開発には自然科学や人文社会科学ほか、第2の最適化技術の開発には情報科学(ICT、デジタル)ほか、第3の実装技術の開発には工学やビジネス科学、医学、農学、芸術学ほか、あらゆる科学が関与貢献することが期待されるので、領域名である先端融合あるいは Interdisciplinary Approach によく叶うとしている。

他方社会インフラの機能として、次の3つが本質であるとしている。第1は人の生命を維持する機能である(例えば水・食料、ヘルスケア、環境に関するサブインフラ)。第2の機能は人間の共同体を維持する機能である(例えば交通、通信、治安・防衛・防災に関するサブインフラ)。第3の機能は文明の水準を維持し発展させる機能である(例えば教育、エネルギー、金融・デジタルに関するサブインフラである)。本プログラムの開始時期に、“Smart City Week”と称する国際フォーラムが丁度開催されていた。その中に“Asian Day”があり、そこで ASEAN 各国の多くの市長の皆様か

ら「自都市がよりスマートになるための最優先社会課題」の共有が行われた。大多数の皆さまが異口同音に挙げられていたのが、水と交通とエネルギーであった。上記の社会インフラの機能モデルにおいて、水は第1の生命維持、交通は第2の共同体維持、エネルギーは第3の文明水準維持の基本機能である。これを根拠に本領域では、水と交通とエネルギーに関するサブインフラをまず具体対象にして、順次研究公募を行い、その後全体インフラのシステムオブシステムズ研究を行うことを基本方針とした。これまでにのべ22カ国、7件の共同研究テーマを採択し推進している。

### 3.2 分野「電力のためのインテリジェントインフラストラクチャ」

本事業はインテリジェント社会インフラの上記3つのサブインフラのうち、エネルギーサブインフラに取り組んだものである。

エネルギーインフラ変革のニーズは直近世界で急速に高まっている。第1の目的は地球環境問題深刻化による脱炭素化である。第2は化石資源国の輸出コントロールを受けたエネルギー自給化である。第3は他国軍事侵略が電力インフラへの攻撃で行われることの再認識による電力網のレジリエンス化である。再生可能エネルギーにより化石燃料を代替しようとする試みが上記第1のニーズに応えることは自明である。再生可能エネルギー源として現在主要な太陽光と風力は遍く存在する資源であり第2のニーズにも応える。特に太陽光で化石燃料や原子力と同等出力を得るには、発電設備を広域に分散させる必要がある。よって電力網のレジリエンス化が進み、第3のニーズにも応える可能性がある。

太陽光や風力の発電量は時間変動が大きいので、電力網の諸所に蓄電設備を設けることになる。どの蓄電設備に再生可能エネルギー、原子力、火力などの発電設備からいつでもどれだけ電力を蓄え、どの需要者にどの蓄電設備からいつでもどれだけ給電するかのもっとも最適制御問題が、近年の電力インフラ変革の主要課題の1つであった。これに加えて、多数の発電設備や蓄電設備が国全域にどのように分散配置され、それらの間がどのような電力網で繋がれるのが、コストとレジリエンスの観点で最適であるかの地理的・トポロジー的計画問題が、冒頭述べた直近の新たなニーズに鑑みて、主要な国家的課題になっていると考える。

### 3.3 課題「e-Asia 諸国における拡張可能型のクラスターに基づくエネルギーインフラ」

先端融合領域では第3.1節に記載の科学技術の観点と、第3.2節に記載のエネルギーインフラに関する直近の社会・経済観点に鑑み、インテリジェントなエネルギーインフラの研究公募を、日本 JST、タイ NSTDA、フィリピン DOST、インドネシア RI STEKDIKTI、ミャンマー MOE 合同で行った。各国の採択委員会を経て5カ国合同採択委員会にて「e-Asia 諸国における拡張可能型のクラスターに基づくエネルギーインフラの研究」を採択した。

日本の採択委員会において、科学技術観点で特に高く評価されたのは同提案書の“Approach”欄にみえる次のような記載であった。

- (1) to investigate existing energy infrastructures in each member country
- (2) to synergize different disciplines of the researchers (e.g., optimization of

networks, sociological and economic analysis, electric power systems, environmental engineering, control and design of batteries)

- (3) to develop the “GGO (Grid of Grids Optimal) Designer” which will use meteorological, geographical, social, economic, and institutional conditions and constraints, as well as the distribution of various energy sources and various energy demands of each region to design resilient and expandable power grids

共同提案 4 カ国のうち、インドネシア、フィリピン、日本は、アジアにおいて保有島数の国別トップ 3 国である。他の提案国であるタイは、島嶼部の観光産業価値がアジアで最も高い国ともいわれている。島嶼群の電力網はもとより分散発電、分散電力消費が前提であり、主島部の集中発電設備からのケーブルによる送電の要素と、各島部の分散発電の島内消費による自己完結型要素を、コストや事故リスクなどの観点で最適化する努力がなされてきた。

本提案では上記第 3.2 節の国家的課題に向けて、これらアジアの広域分散型の送電アーキテクチャの代表例を持つ国の研究者が協力することにより、まず第 1 に、従来の各国の課題や解決策の過去の知見が共有されることが、上記(1)と(2)の記載から期待された。本提案への第 2 の期待は、上記(3)に記載された GGO Designer (後に GGOD と改称)の開発提案である。上記で記載の国家的課題である電力網の地理的・トポロジー的計画問題は、全数探索が不可能な計算困難問題である。GGOD はこれを Grid of Grids、すなわちマイクログリッド群のグリッド化という 2 段階への問題分割で解こうとしたものと理解された。特に to design resilient and expandable power grids のように記載されているように、地理的・トポロジー的最適化にレジリエンスを目的関数に加える挑戦が示唆されている点が、結果として冒頭に示した直近の国家的課題を先取りする形になっていた。

第 3 の期待は、e-ASIA の先端融合領域で提唱している第 3.1 節記載のインテリジェント社会インフラの技術モデルの代表具体事例が生まれることである。同モデルで第 1 の技術とした実世界(自然環境・社会環境)を観測・解析して仮想世界上にモデル化する技術については、meteorological, geographical などの自然環境のみならず、social, economic などの社会環境の反映が示唆され、文理融合が図られるとされた。同モデルの第 2 の技術とした仮想世界上のシミュレーションで最適解を求める技術については、GGOD 開発において、同モデルの第 3 の技術とした仮想世界上の最適解を実世界に実装する技術については、economic, social に加え institutional の記載にみられるように、各地域の事業者の実情を反映しようとする姿勢がうかがわれた。

## 4 事後評価結果

### 4.1 評価手順

2022 年 3 月 31 日の研究期間終了に先立ち、2022 年 2 月 24 日に、受託 4 か国の研究者が一堂に会する国際ワークショップが研究代表者により開催された。JST の当該領域研究主幹も出席し、各国研究者らからの研究報告内容を直接確認した。それらの報告内容を踏まえて、同研究主幹はその後作成される終了報告書につい

での要望を当日同ワークショップ会場にて行った。

My mission today is to give suggestions to Prof. Nakanishi, for him to prepare for the final report of this project.

The final report of this kind should have two parts in general. The first part is to report how much you have solved the problem you promised to solve when you submitted the proposal. Please do not eliminate any of your promises, even if you failed to act sufficiently. It is not only for the government or taxpayers but for other researchers whose proposals were evaluated slightly lower than yours and were rejected. The other part is how much you found new problems you never noticed when you started the project. If the value of the second exceeds the items you left behind in the first part, the project as a total should be highly evaluated.

Regarding the first part on how much you solved the problem you promised to solve, my suggestion to this project is that the presentations today can be substantially enhanced in the final report if they are aligned as in the following way:

In your proposal five years ago, you promised there will be six outcomes. One of the six outcomes to be was to develop methodologies by sorting out and testing by model simulations. Two results were explained in detail today. One by Dr. Iwamura and Prof. Takamori of Japan, and another by Prof. Noel Estoperez of Philippines. I was so impressed by both presentations.

As I commented in the workshop, I hope the Japan team uses its simulator to try to solve the real problem of the Filipino team. I hope your collaborations will be advanced to a different and a deeper stage. My dream is that it will lead to the intelligent infrastructure theory I have dreamed to establish since e-ASIA started eight years ago.

Other promises you made include the one to draw the grand design and the roadmap of intelligent energy infrastructure in each country, and the one to clarify domestic characteristics in e-Asia countries and required technologies to be developed. For these promises, presentations by Philippines, Indonesia, and Thailand in the morning session suggested some possibilities. A particular example was the presentation by Dr. Meita Rumbayan, who talked her view of renewable energy in Indonesia in a comprehensive way. The Thai team and Mr. Gamill of Ryukyu University from Egypt introduced various works on energy management. These experiences seem enough to induce a bigger picture. I hope Prof. Nakanishi make one more effort on these promises by asking the members in the morning session for help.

Another promise was to exchange ideas and knowledge among various fields among students and researchers. This is one of the main purposes of e-ASIA. I

knew today most of you made a great effort on this even in the pandemic and actually did it. Please do not forget to put a list of human networks cultivated throughout this project.

The second part of the final report will be how much you found new problems you never noticed when you started the project. These parts can be even more important than the first part. If the value of the second part exceeds the items you left behind in the first part, the project should be highly evaluated.

I assume this is why Prof. Nakanishi held this workshop outside his university and why he put the afternoon session. We learned a lot of wonderful insights from Prof. Senju and his students. We also learned a new aspect of energy and agriculture from Prof. Nozu who just retired from the Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries in the Japanese government and became a professor of Waseda University and joined this team. "Energy or microgrid and agriculture or fishery" is a very promising research field as he said is quite agreeable. Mr. Robick Tarife of Waseda University from Philippine and Mr. Ueda of Ryukyu University working for Philippine made my conviction even stronger, Thank you very much.

Attending this workshop the whole day today, I really come to hope, new collaborations will start among some or all the participants today.

-Feb. 24, 2022, Haruo Takeda, Program Officer, JST, e-ASIA/JRP.

その後受託者から受領した最終報告書は、JST 事務局で精査され、上記示唆に従っていることが確認された。その上で研究主幹および3名の評価者からなる評価委員会にて7つの観点、18の項目からなる評価を行った。

#### 4.2 応募時約束の達成状況

応募時、採択前の提案書に記載され、採択審査のポイントになったと思われる約束6項目の約束について、すべて約束通り実行されたことがJST事務局で確認された。なお応募時約束の実行のレベルに関する評価委員からの主要なコメントは以下のとおりである。

- (1) 各国のインテリジェントなエネルギーインフラの全体構想とロードマップ作成について: 島嶼や未電化地域の電化予定地域などの単独なマイクログリッドとグループ形成された既存のマイクログリッドによる半島側マイクログリッドの2形態による2分類が各国の特性を考慮したスタディの結果進展した。具体ロードマップ化が期待される。
- (2) e-ASIA 諸国の国内特性と開発が必要な技術の明確化について: 参加大学/研究所がそれぞれの国の異なる特性を生かした検討がなされ、電化の必要な地域、再生可能エネルギー導入ポテンシャルなどの一般化視点で必要な技術を明確化した。従って参加国以外にも横展開をはかることが可能なものと評価できる。
- (3) さまざまな分野の学生・研究者の間でアイデアや知識の交換について: 参加国

間で頻繁な会議が行われ、リーダー間での意思疎通から、特に相手国学生の長期受入れと学位取得を含めて、きわめて充実した交流が行われた。今回築かれた貴重な人的ネットワークを、今後の維持・発展頂くことが強く期待される。

- (4) 手法論の開発と科学/産業の成果報告について:各国のメンバーによるいくつかの方法論やその具体社会課題への活用などで大きな成果を上げている。特に日本とフィリピンが共同で開発した GGOD や、それを活用した地理的・トポロジー的計画問題の最適化例、タイで開発されたシステム BS-HESS は特筆される。成果の更なる発信と今後の社会実装への挑戦が期待される。
- (5) 予見可能な自然災害の一連のシナリオを特定し、回復力のある電力供給グリッドの創成について:MCDA により領域のリスク値を推定して、回復力のある電力ネットワーク設計を行えるようにしている。グリッドのロバスト化、BCMS を含めた展開が期待される。ただし、予見される災害への対応ということでの検討には、昨今の世界情勢の大きな変化を踏まえた更なるシナリオ拡大が必要と考えられる。
- (6) 各種再生可能エネルギーのポテンシャル推定と環境親和性のあるコミュニティへの活用について:参加大学/研究所がそれぞれの国で、再生可能エネルギーポテンシャルなどを考慮して、緩和効果のある地域への適応を評価しており、それぞれの国による事情はあるが、活用可能なエネルギーのポテンシャルと導入推進への実問題解決に期待がかかる。

### 4.3 科学技術上の成果

本事業の第 1 の科学技術への成果は、コンピュータによる地理的最適計画化問題(Geometrical Reasoning)において、制約条件として再生可能エネルギーポテンシャル分布などの自然科学的条件と共に、電力設備の社会受容性の地域分布など人文科学的条件を含めた問題設定がなされたことである。さらにそのような制約条件を、フィリピンに実在する特定の広域郡について、十分な細分メッシュ単位に実際にモデル化されデータ化されたことである。自然科学的条件に対して、人文社会科学的条件は、測度自体を含めた曖昧性(uncertainty)のオーダーが高いため、最適計画問題の難易度は別次元の問題となることが容易に予測される。一方これらは社会実装に向けては不可避の制約条件であり、そのように実用のための複合問題に本格的に挑戦したことが特筆に値する。

第 2 の成果は、そのように多様なデータが国を越えて共有されるための仕組みとして GGOD と称するソフトウェアプラットフォームが開発され、実際に参加各国の参加チームの間で使われたことである。データの自由で国際的な流通が、人類に巨大な価値をもたらすことは疑いないが、それが自国の経済利益、国や地域の安全保障、個人の人権などを棄損し得るとの懸念も存在する。この問題解決のために、国際的ルール形成と革新技術開発の文理両輪の努力が世界で加速している。日本からは DFFT(Data Free Flow with Trust)と称するトラストを中心概念とする提唱が国際舞台でなされている。GGOD はその 1 つのユースケースへの発展の可能性がある。

第 3 の成果は、GGOD をデータのみならず、最適化ソフトウェアエンジンの国を超えた共有に利用し、実際に電力網の地理的最適計画の実例を生んだことである。各

研究者が習熟した最適化エンジンを複数用いて結果を比較することを可能としたもので、シミュレーション結果の精度向上にも大きな効果を発揮したものと考えられる。

なお評価委員会にて、成果の科学技術レベルは発表文献の数の多さから申し分ないと思われるとする評価委員がいる一方、学術雑誌発表が2件は必ずしも十分でないとする評価委員がいた。最終報告書提出後に、フィリピン主要研究者の1人が日本の当該チームで執筆した早稲田大学博士論文が発表されている。その問題設定の本課題における包括性・本質性と、アプローチの新規性と、結果の重要性は約200ページの記述内容から十分に理解された。本論文を成果に加えることによって、質・量ともに本予算規模の研究開発プロジェクトとして申し分ないとJSTとしては評価する。

#### 4.4 人的ネットワーク形成の成果

共同提案4カ国のうち、インドネシア、フィリピン、日本は、アジアにおいて保有島数の国別トップ3国である。他の提案国であるタイは、島嶼部の観光産業価値がアジアで最も高い国ともいわれている。島嶼群の電力網はもとより分散発電、分散電力消費が前提であり、主島部の集中発電設備からのケーブルによる送電の要素と、各島部の分散発電の島内消費による自己完結型要素を、コストや事故リスクなどの観点で最適化する努力がなされてきた。本提案では上記第3.2節の国家的課題に向けて、これらアジアの広域分散型の送電アーキテクチャの代表例を持つ国の研究者が協力することにより、従来の各国の課題や解決策の過去の知見が共有された。世界でも有数の島嶼国の電力網研究者の稀有な人的ネットワークが築かれたと考える。今後もこのチャンネルを通して最新の島嶼部集中分散電力網の世界動向が共有され、知見が更新され続けることが期待できる。

参加研究者の専門領域が多岐にわたることは、応募時の次のような記述から期待された。

to synergize different disciplines of the researchers (e.g., optimization of networks, sociological and economic analysis, electric power systems, environmental engineering, control and design of batteries)

これが結果としてどのような効果を生む人的ネットワーク形成に繋がったのかは、最終報告書の記述から読み取るのは難しかったが、最終報告会における、社会経済学専門家や農業・漁業エネルギー専門家などの発表や密な交流状況をJSTとして確認した。

実際の技術開発の過程では、フィリピンの主要な研究者が日本の主要研究チームに長期滞在する密な共同研究体制が作られた。同研究者が滞在先の日本チームの研究者のみならず、自国の研究者やさらに第3国の研究者とも日常連携することによって、上記第4.3節に示される科学技術的成果の主要な成果が生み出された。同研究者は2022年の3月に日本で本研究内容にて博士論文を執筆・提出し、これが受理・認可されて博士号を取得し、フィリピンに帰国して主要なポジションに就任した。今後特に同国との本分野の学術や経済に密な連携が大いに期待される。

上記のような活動と、プロジェクトの多くの会議等を通じて、メンバーの間で深い人的ネットワークが形成されたことは、受託4カ国の研究者が一堂に会する国際ワーク

ショップなどに JST 本領域研究主幹も含めて何度か参加し確認した。また当該領域において 2021 年 12 月 Greener Digital Cities と名付けた国際ワークショップを日本の JST をはじめ、タイ NRCT、フィリピン DOST、シンガポール A\*STAR など ASEAN 各国の研究支援機関等で共催したが、各研究支援機関より、多大な協力を頂いた。本プロジェクトで形成された人的ネットワークなども貢献したと思われる。

#### 4.5 社会・経済への成果

本プロジェクトで生まれた第 4.3 節記載の科学技術的成果と、本プロジェクトで形成された第 4.4 節記載の人的ネットワークは、第 3.2 節記載の直近世界で急速に高まっているエネルギーインフラ変革のニーズに応えるものである。社会実装のためには JST のみならず、他府省庁の国家施策への積極的提案で、大型実用技術へのさらなる錬磨が望まれる。JST 研究主幹からの関連公募等の情報提供に応じて、日本の研究チームからは積極的な応募が実際に行われている。社会・経済への大きな効果が今後期待できる。