

METLAB 全国国際共同利用専門委員会

1. 共同利用施設および活動の概要

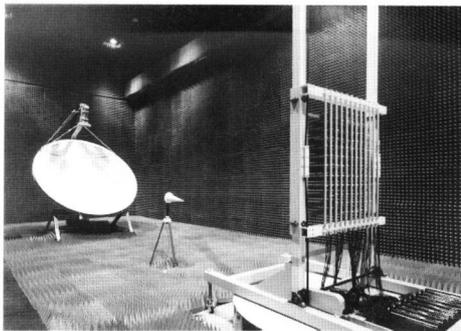
生存圏研究所ではこれまで宇宙太陽発電所 SPS(Space Solar Power Satellite/Station)とマイクロ波エネルギー伝送の研究を長年行ってきた。SPS は太陽電池を地球の影に入らない静止衛星軌道(36,000km 上空)に配置し、雨でもほとんど吸収されないマイクロ波を用いて無線で地上に電力を伝送しようという発電所構想である。マイクロ波による無線エネルギー伝送は、SPS だけでなく、携帯電話の無線充電や電気自動車の無線充電にも応用可能で、近年急速に産業化が進んでいる技術である。生存圏研究所ではマイクロ波エネルギー伝送技術を中心として研究を進め、世界の SPS とマイクロ波エネルギー伝送研究の中心となっている。

本共同利用設備は平成 7 年度にセンター・オブ・エクセレンス (COE) による先導的研究設備経費として導入されたマイクロ波無線電力伝送実験用及び生存圏電波応用実験用電波暗室及び測定機器で構成される「マイクロ波エネルギー伝送実験装置 METLAB (Microwave Energy Transmission LABoratory)」(図 1(a))と、平成 13 年度に導入された宇宙太陽発電所研究棟(略称 SPSLAB)(図 1(b))が中心となる。

METLAB は高耐電力電波吸収体(1 W/cm^2 以上)を配した $7\text{m} \times 7\text{m} \times 16\text{m}$ の電波暗室で、ターンテーブルと X-Y ポジショナを設置してある。その横の計測室にはスペクトラムアナライザやネットワークアナライザ、パワーメータ等の各種マイクロ波測定器を備える。暗室には、2.45GHz、5kW のマイクロ波電力をマグネトロンで発生させ、直径 2.4m のパラボラアンテナから電波暗室内部に放射することが出来る設備も備えている。

SPSLAB は、平成 12 年度に導入された研究設備「宇宙太陽発電所マイクロ波發送受電システム」SPORTS2.45(Space POver Radio Transmission System for 2.45GHz)の一部として導入された近傍界測定サブシステムが設置されている 100dB シールドルームをはじめ、30dB シールド実験室や実験準備室等を備え、マイクロ波エネルギー伝送及び宇宙太陽発電所の研究を発展させることができる。

(a)



(b)



図 1 (a) METLAB 内部 (b) SPSLAB 概観

平成 16 年度の共同利用開始から、METLAB と SPSLAB を中心に全国共同利用を行ってきたが、平成 22 年度には高度マイクロ波エネルギー伝送実験装置 A-METLAB(Advanced Microwave Energy Transmission LABORatory)(図 2(a)(b))と、実験用の「高度マイクロ波電力伝送用フェーズドアレー・受電レクテナシステム」(図 2(c))が導入され、平成 23 年度から共同利用に供する予定である。

A-METLAB は 34.0m(L) x 21.0m(W) x 9.97m(H)の建物(建築面積 714.00 m²、述べ床面積 824.72 m²)の内部に設置された 18m(L) x 17m(W) x 7.3m(H)の電波暗室と、10mφ, 10t, 10kW のフェーズドアレーを測定可能な plane-polar 型の近傍界測定装置で構成される。暗室には 1W/cm²に耐える電波吸収体を備え、class 100,000 のクリーブースとしても利用できるようになっているため、将来のマイクロ波エネルギー伝送を行うための人工衛星(最大 10mφ, 10t, 10kW のフェーズドアレー衛星を想定)を測定することが出来る世界唯一の実験設備である。

高度マイクロ波電力伝送用フェーズドアレー・受電レクテナシステムは世界最高性能を持つマイクロ波エネルギー伝送用フェーズドアレーとレクテナアレーである。フェーズドアレーは 256 素子の GaN FET を用いた F 級増幅器(7W, >70% (最終段))と同数の MMIC 5bit 移相器で構成され、5.8GHz、1.5kW のマイクロ波を放射・制御可能である。レトロディレクティブ、REV 法, PAC 法, 並列化法他の目標推定手法とビームフォーミング手法を備えている。レクテナアレーは 1mW 入力時に 50%以上の変換効率を持つレクテナ 256 素子で構成され、再放射抑制用 FSS(Frequency Selective Surface)や負荷制御装置を備えた実験設備である。本設備は、様々なビームフォーミング実験、目標追尾アルゴリズム実験、制御系を利用したアンテナ開発研究、アンテナを利用した回路開発研究、レクテナ実験、無線電力伝送実験等が可能な実験設備 である。

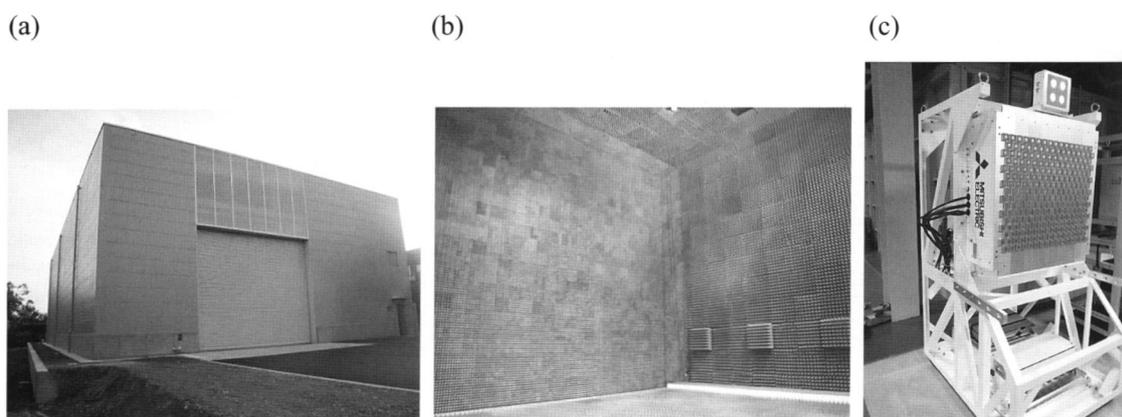


図 2 (a) A-METLAB 概観 (b) A-METLAB 暗室 (c) 高度マイクロ波電力伝送用フェーズドアレーシステム

2. 共同利用研究の成果

毎年年度末には共同利用の成果を元にシンポジウムを実施しており、毎年電子情報通信学会通信ソサイエティ宇宙太陽発電研究会との共催で実施されている。これまでの採択課題から研究課題を大まかに分けて示すと、次のように多彩な方面で利用されている。「無線送電関係」：SPS用排熱機能付アンテナの熱特性評価、マイクロ波エネルギー伝送駆動による火星飛行探査機の研究、マイクロ波送電電気駆動車両の開発、マイクロ波電力伝送用レクテナ設計と性能評価試験、レクテナ再放射特性試験、マイクロ波送電用レトロディレクティブシステムの開発及び屋外実験、他。「アンテナ関係」：全方向性UHF帯アンテナ、電波天文用多モードホーンの開発、3素子エスパアンテナの水平面内指向性の測定、超小型衛星用ヘリカルアンテナのアンテナパターン試験、他。「リモートセンシング他」：多偏波SARを用いた都市モデルの構築、マイクロ波を利用したRC構造物中の鉄筋および欠陥探査方法に関する研究、自己組織化アルゴリズムによる宇宙圏電磁環境モニターセンサーノードの位置捕捉手法、他。「加熱関係」：木質バイオマスからのバイオエタノール生産を目指したマイクロ波照射前処理用装置の研究開発、空間伝送マイクロ波エネルギーによる物質の加熱実験、長波長マイクロ波を用いた低侵襲ハイパーサーミアの基礎研究、他。

その一例としてSPS用排熱機能付アンテナの熱特性評価に関し報告する。マイクロ波を用いた宇宙太陽発電システム（SPS）では、送電機の電力増幅器において発熱を伴うため、その熱の適切な処理が必要である。そこで、発熱体である電力増幅器からアンテナに熱伝導させ、アンテナ面から輻射によって排熱させる構造の検討がIHIエアロスペースと京都大学のグループにより今期行われた。アンテナ構造は、背面とアンテナ面をビア接続して電力増幅器から効率よく伝熱させる構造とし、アンテナ面から効率よく輻射させるために、広い金属面を有するクロススロットアンテナとした。さらにアンテナ面に波長選択体を装着することで、太陽光などの外部からの入熱を遮断するとともに内部からの熱を赤外線でも効率よく排熱できる構造とした。今年度は、検討したアンテナの熱特性試験を行い、取得した特性を用いた軌道上の熱シミュレーションを行った。

また、マイクロ波エネルギー伝送駆動による火星飛行探査機の研究も継続して行われている。本研究は九州工業大学と京都大学との共同研究・利用により行われている。本研究ではマイクロ波電力伝送を利用した火星飛行探査機の成立性の検証と飛行探査システムの構築を目的として、電波暗室における飛行実験を進めている。小型飛行体に搭載する高効率軽量(1g/個)レクテナを開発し、小型飛行実験機に搭載して飛行実験に成功している。実験では最も受電能力が小さい覆域でも飛行可能な1.06Wを得られた。さらに位相制御マグネトロンを利用した新しいマイクロ波送電器も開発し、画像認識トラッキング方式で目標を追いつつマイクロ波ビーム方向も制御するシステムを開発中である。

3. 共同利用状況

表 1 METLAB 共同利用状況

年度	平成 16 年	平成 17 年	平成 18 年	平成 19 年	平成 20 年	平成 21 年	平成 22 年
採択 課題数	8	12	10	16	14	9	9
共同利用 者数 **	45	52	69	112	69	54	49

** 研究代表者および研究協力者の延べ人数

4. 専門委員会の構成及び開催状況（平成 22 年度）

- ・佐々木 進 (JAXA/ISAS, 教授)
- ・高野 忠 (日本大学理工学部電子情報工学科, 教授)
- ・藤野 義之 (NICT新世代ワイヤレス研究センター 宇宙通信ネットワークグループ, 主任研究員)
- ・野木 茂次 (岡山大学大学院 自然科学研究科, 教授)
- ・多氣 昌生 (首都大学東京大学院理工学研究科 電気電子工学専攻, 教授)
- ・大平 孝 (豊橋技術科学大学 情報工学系, 教授)
- ・臼井 英之 (神戸大学大学院 システム情報学研究科, 教授)
- ・川崎 繁男 (JAXA/ISAS, 教授)
- ・北野 正雄 (京都大学大学院工学研究科電子工学専攻, 教授)
- ・佐藤 亨 (京都大学大学院 情報学研究科通信情報システム専攻, 教授)
- ・宮坂 寿郎 (京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻, 助教)
- ・渡邊 隆司 (生存圏研究所 バイオマス変換分野, 教授)
- ・山本 衛 (生存圏研究所 レーダー大気圏科学分野, 教授)
- ・篠原 真毅 (委員長) (生存圏研究所 生存圏電波応用分野, 教授)
- ・小嶋 浩嗣 (生存圏研究所 宇宙圏電波科学分野, 准教授)
- ・橋口 浩之 (生存圏研究所 レーダー大気圏科学分野, 准教授)
- ・三谷 友彦 (生存圏研究所 生存圏電波応用分野, 助教)
- ・Tatsuo Itoh (国際委員(アドバイザー)) (TRW Endowed Dept. of Electrical Engineering, UCLA, Chair)

平成 22 年度は平成 23 年 3 月 7 日に専門委員会を開催。あわせて第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会を実施し、共同利用成果の発表を行う予定である。

5. 特記事項

本共同利用設備は特に開発結果を測定に来る利用方法であるために、随時申請を受け付け、審査を行っている。また後期に利用が集中する傾向にある。また、実験型の運用であるため、実験補助員は必須であるが、現状では研究所スタッフがこれを勤めており、今後は実験補助員の充当が必要である。

平成 22 年度共同利用研究活動の中で作成された修士論文、博士論文
共同利用研究の成果による学術賞および学術論文誌に発表された論文

1) 著書

M. Matsunaga and T. Matsunaga, “Electromagnetic Waves Propagating around Buildings,” INTECH, ISBN 978-953-307-275-3, 出版決定 2011 年 2 月

篠原 真毅, “マイクロ波で宇宙から電力伝送 電気自動車や携帯機器も, ワイヤレス給電 2010 第 3 章技術動向”, NE Books, 日経 BP 社, 2010, pp.104-117

篠原 真毅, “11.5.3 マイクロ波無線電力伝送”, パワーエレクトロニクスハンドブック 第 11 章エネルギーの伝送と貯蔵, オーム社, 2010, pp.198-200

篠原 真毅, “エネルギー・ハーベスティングの最新動向 (監修: 桑原博喜), 3 編 エネルギーハーベスティング技術 1 章 電磁エネルギー利用 5 電波エネルギーハーベスティング”, シーエムシー出版, 2010, pp.62-72

篠原 真毅, “エネルギー・ハーベスティングの最新動向 (監修: 桑原博喜), 3 編 エネルギーハーベスティング技術 5 章 エネルギー伝送 1 マイクロ波エネルギー伝送”, シーエムシー出版, 2010, pp.222-230

篠原 真毅, “ワイヤレス・エネルギー伝送技術の最前線, 第 1 編 ワイヤレス・エネルギー伝送技術開発の最前線 第 1 章 エネルギー伝送方式の基礎原理と課題 第 1 節 マイクロ波方式による伝送技術”, ニッケイ印刷, 2011, pp.40-50

篠原 真毅, “電気自動車のためのワイヤレス給電とインフラ整備 (監修: 堀洋一, 横井行雄) 第 I 編 7 章 マイクロ波ワイヤレス給電 (電気自動車) ”, シーエムシー出版, 2011

2) 学術論文誌

Naoki Shinohara, “Beam Efficiency of Wireless Power Transmission via Radio Waves from Short Range to Long Range“, Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol.10, No.4, 2011, pp.224-230

3) 修士論文

鈴木望, “ZigBee 端末のためのマイクロ波無線電力供給システムの研究開発”, 京都大学大学院工学研究科電気工学専攻修士論文, 2011

辻直樹, “マイクロ波電力伝送用レクテナ群の最適配置と飛行実験”, 平成 22 年度九州工業大学大学院修士論文, 2011

渡邊宏弥, “固体天体地下浅部探査を目指した地中レーダーの検討”, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文, 2011

飯田崇一朗, “Fe, Fe₂O₃, Fe₃O₄ 成形体のマイクロ波場での加熱特性及び Fe-Fe₃O₄ 複合体化に伴う Fe の加熱特性向上メカニズムの解明”, 広島大学大学院工学研究科修士論文, 2011

横田真吾, “起伏のある地形における地下構築物内の電波伝搬に関する研究”, 福岡工業大学
大学院工学研究科情報通信工学専攻修士論文, 2011

4) 卒業論文

長濱章仁, “火星飛行探査機へのマイクロ波無線電力供給用送電システムの研究”, 京都大学
工学部電気電子工学科学士論文, 2011

橋爪 康佑, “損失のあるデジタル移相器を用いたフェーズドアレイアンテナにおけるエッ
ジテーパリングと不等素子間隔の効果”, 京都大学工学部電気電子工学科学士論文, 2011

佐藤伸宙, “鉄・酸化鉄圧粉体のマイクロ波場における加熱特性”, 広島大学工学部学士論文,
2011

5) 学会発表

T. Mitani, S. Tanaka and Y. Ebihara, "A Study on a Phased Array Antenna including Imbalanced
Loss of Digital Phase Shifters for Microwave Power Transmission", 2010 Asia-Pacific Radio
Science Conference (AP-RASC '10), CBH-4, Toyama, 2010.9.22-26

Nozomu Suzuki, Tomohiko Mitani, and Naoki Shinohara, “Study and Development of a Microwave
Power Receiving System for ZigBee Device”, 2010 Asia- Pacific Microwave Conference
(APMC), Yokohama, 2010.12.8-10, CD-ROM WE1C-02.pdf

渡邊宏弥, 宮本英昭, 西堀俊幸, 春山純一, 真鍋武嗣, “固体天体用地中レーダー(GPR)シ
ステムの検討と開発,” 第 43 回月・惑星シンポジウム, 相模原, 2010.8.4-6

渡邊宏弥, 春山純一, 西堀俊幸, 真鍋武嗣, 宮本英昭, “固体天体用地中レーダ(GPR)シス
テムの開発, 2010 年日本惑星科学会秋季講演会, P024, 名古屋, 2010.10.6-8

鈴木望, 篠原真毅, 三谷友彦, “ZigBee 端末用マイクロ波受電システムの研究開発”, 電子情
報通信学会第 3 回無線電力伝送研究会, 2010.10.15, 信学技報 WPT2010-12 (2010-10)
pp.27-31

小澤雄一郎, 藤原栄一郎, 藤原暉雄, “マイクロ波無線送受電システム 受電部開発計画”, 第
13回SPSシンポジウム, pp.71-74, 東京, 2010.10.29

三谷 友彦, 田中 俊二, 蛭原 義雄, “デジタル移相器損失を考慮したフェーズドアレイアン
テナにおける無線電力伝送の最大化”, 第 13 回 SPS シンポジウム, pp.75-78, 東京,
2010.10.29

飯田崇一郎, 西野信博, 竹内貴季, 佐藤元泰, 櫻村京一郎, 田中基彦, Ignatenko Maxim, “円
筒状マグネタイトを使ったマイクロ波加熱 効果”, 第二十七回プラズマ核融合学会,
2010

田中 俊二, 三谷 友彦, 蛭原 義雄, “宇宙太陽光発電の送電アレイアンテナ位相最適化によ
る無線伝送電力最大化”, 第 53 回自動制御連合講演会, pp. 1093-1098, 高知, 2010.11.4-6

小澤雄一郎, 藤原栄一郎, 藤原暉雄, “受電部技術実証モデルの検討”, 第54回宇宙科学技術連

- 合講演会, CD-ROM IS14.pdf, 静岡, 2010.11.17
- 北野遼, 真鍋武嗣, 西堀俊幸, "月・小惑星探査用地中レーダのアンテナに関する基礎検討," 平成 22 年電気関係学会関西連合大会, 3A303-7, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 2010.11.13-14
- 西堀俊幸, 宮本英昭, 渡邊宏弥, 春山純一, 北野遼, 真鍋武嗣, "月火星の溶岩チューブのレーダによる探査," 月と火星の縦孔・溶岩チューブ探査研究会, 相模原, 2010.12. 2-3
- 宮本英昭, 西堀俊幸, 真鍋武嗣, 渡邊宏弥, 平田直之, 北野遼, 春山純一, "小惑星の内部構造とレーダー探査," 第 2 回はやぶさ 2 から考えるサイエンス研究会, 東京, 2011.1.13
- 鈴木望, 篠原真毅, 三谷友彦, "ZigBee センサーネットワークに対するマイクロ波無線電力供給システムの研究開発 II", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 小澤雄一郎, 平野敬寛, 藤原栄一郎, 藤原暉雄, 飯田光人, 篠原真毅, 三谷友彦, "排熱機能付アンテナの熱特性評価", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 中川真也, 宮坂寿郎, 大土井克明, "マイクロ波送電技術を応用した農業機械の電動化", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 氏原秀樹, 川口則幸, 武士侯健, 本間希樹, 木村公洋, 松本浩平, 小川英夫, 上妻昇志, 中西裕之, 中川亜紀治, 大田泉, 三谷友彦, "電波天文用広帯域フィードシステムの基礎開発", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 北野遼, 真鍋武嗣, 西堀俊幸, 渡邊宏弥, 宮本英昭, 春山純一, "固体惑星内部探査レーダ用 Vivaldi アンテナの基礎検討と試作性能評価", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 松永真由美, 掛水健司, Massimo Candotti, 松永利明, "多偏波・周波数共用全方向性アンテナ", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 佐藤元泰, 檜村京一郎, 福島潤, 高山定次, "マイクロ波照射下における物質電子の応答に関する測定の試み", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 田中俊二, 三谷友彦, 蛭原義雄, "デジタル移相器損失を考慮した宇宙太陽発電所送電システムの高効率化", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第 10 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会, 京都大学宇治キャンパス, 2011.3.7
- 辻直樹, 福田敬大, 可成理高, 長濱章仁, 三谷友彦, 米本浩一, "マイクロ波電力伝送レクテナ群の最適配置と飛行実験", 電子情報通信学会 第 5 回無線電力伝送時限研究会, 第

10回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会，京都大学宇治キャンパス，2011.3.7
辻直樹，福田敬大，可成理高，長濱章仁，三谷友彦，米本浩一，”マイクロ波電力伝送レク
テナ群の最適配置と飛行実験”，日本機械学会九州支部第64期総会・講演会，九州大
学伊都キャンパス，2011.3.17