

# JEMEA ワーキンググループ (WG) 活動紹介



## 900MHz 帯 ISM バンド調査 WG

900MHz Range ISM Band Working Group  
Hideoki Fukushima

(株) 豊田中央研究所 福島 英沖 (部会長 2011-)

〒4801192 愛知県長久手市横道 41-1

e-mail: h-fukushima@mosk.tytlabs.co.jp

### 1. はじめに

マイクロ波加熱の課題として、ISM (Industry-Science-Medical) バンドの法規制があり、現状我が国では 900MHz 帯は電波法で認可されていない。この周波数帯は浸透深さが大きい均一加熱に有利であり、エネルギー効率(装置の変換効率)が高く低コストで加工でき、大規模化するには今後必須の周波数となる。北米では 915MHz 帯が以前から認められており、大規模なマイクロ波加熱プロセスが行われている。我が国は 900MHz 帯の工業利用が遅れており、海外との競争力を備えるには米国、欧州にあわせ、グローバルスタンダードにする必要がある。産学界で連携して、産業科学医療用として 915MHz 帯が ISM バンドとして認められる(もしくは規制緩和される)よう、国に働きかけていく必要がある。日本電磁波エネルギー応用学会 JEMEA では、2011 年から 900MHz 帯 ISM バンド調査 WG を作り、調査活動を行ってきた。本報では 900MHz 帯域のマイクロ波加熱の利用可能性と課題について、現在までの WG 活動内容を報告する。

### 2. マイクロ波利用に関する規制緩和

現状、我が国では ISM バンドの指定周波数帯として、2.45GHz, 5.8GHz, 24.1GHz 帯が電波法で認められている<sup>1)</sup>(表 1)。電子レンジで用いられている 2.45GHz 帯は、必ずしもマイクロ波加熱に適した周波数ではない。例えば水のマイクロ波吸収性能を示す誘電損率の最大値は 15~20GHz 帯にあり、逆にエタノールなどは 1GHz 帯で最もマイクロ波の吸収が高くなる。また、マイクロ波の加熱室

(キャビティ)として、一般に用いられているマルチモード型とエネルギーを集中できるシングルモード型があるが、どちらが適しているかは加熱室内の定在波の大きさ、すなわち管内波長に大きく影響される。現在市販されているマグネトロン発振器は、915MHz(波長 328mm)、2.45GHz(同 122mm)、5.8GHz(同 52mm)であり、市販の電子レンジは 2.45GHz のマルチモード型が用いられている。しかし、均一加熱の観点から周波数を選択すると、マルチモード型では周波数の高い(すなわち波長の短い)5.8GHzの方がよく、逆にシングルモード型では波長の長い 915MHzの方が適している。また、マイクロ波の吸収エネルギーでみると周波数が高い方がよく、逆にマイクロ波の浸透深さでみると周波数が低い方が有利となる。

海外の法規制については、北米では 915MHz 帯の加熱装置が ANSI 基準として以前から認められているが、最近では欧州、オーストラリア、ロシアなどでも 900MHz 帯が使われており、大規模なマイクロ波加熱プロセスを行っている。一方、我が国では昭和 25 年に制定(昭和 46 年 ISM を告示)<sup>2)</sup>された無線設備規則に縛られて、現在においてもこの周波数帯の使用は認められていない。915MHz 帯を高周波利用設備として利用する場合、漏洩電界強度は 100m の距離において  $100 \mu\text{V}/\text{m}$  以下と定められている。電力密度に直すと  $2.65\text{f}(\text{フェムト})\text{W}/\text{cm}^2$  であり、距離を考慮した場合、2.45GHz の許容値  $5\text{mW}/\text{cm}^2$  よりも 5-6 桁低い値であり、2.45GHz に比べて非常に厳しい漏洩基準となっている。そのため、915MHz 帯を使用する場合は二重にシールドを施すなどの対策が必要となる。日本で

は一部の食品関係で使われたことがあり、耐火物乾燥の事例もあるが、現状では研究用以外はほとんど 915MHz 帯は使われていない。一方、900MHz 帯は電波が障害物を回り込んで遠くまで届きやすいので、携帯電話にとってはプラチナバンドである。2012年7月の周波数再編により、900～915MHz は携帯電話、915～928MHz は RFID (電子タグ)、930～940MHz は MCA (陸上移動通信) に割り当てられ、920MHz 帯の近距離無線の本格運用が始まった<sup>3)</sup>。とくに RFID は周波数、ノイズレベルもアメリカの基準にあわせている。図1に諸外国の RFID 及びスマートメーターの 920MHz 帯での利用状況を示す。アメリカ (南北アメリカ) では、ISM が 900MHz 帯で認められているが、RFID と ISM は 902～928MHz で重なっており、共存して使用している。アメリカ以外でも同様である。電波防護指針、微弱無線局規定、米 ANSI 安全基準などと照らし合わせて、規制緩和を訴える必要がある。915MHz 帯の利用が産業界 (ISM: 工業、科学、医療) に必須であり、海外との競争力を備えるにはグローバルスタンダードにする必要がある。

### 3. 900MHz 帯のメリットと使用状況

900MHz 帯のメリットとして、波長が長いので大型の処理に向いており、単位電力あたりの装置コストが 2.45GHz の半分以下ですむ。今後、産業界で大規模工業化 (大量生産) するには 915MHz は必須の周波数となる。また、浸透深さが大きいので食品の解凍などに向いており、2.45GHz に比べて均一加熱処理が行える。食品の乾燥などで 915MHz 帯がかなり使われている。2.45GHz のマグネトロン発振器は市販のもので最大 6kW が限度であり、電源を含めた価格は 40～80 万円/kW と言われている。一方、915MHz のマグネトロン発振器は 100kW のものも市販されており、電源を含めても 1600～1800 万円 (最大 18 万円/kW) で 2.45GHz の半分以下である。しかも、マグネトロンの効率は 2.45 GHz 用で最大 70% であるのに対して、915MHz 用では 90% 以上といわれている。また、915MHz 用マグネトロンの寿命は 1 万時間以上であり 2.45GHz よりも数倍長い。すなわち、装置のスケールアップを図る場合は、装置コストでみると明らかに 915MHz 帯の装置を用いる方が有利である。ただし、シールド対策が必要となる。シールドをきちんとすれば申請許可はおろるが、連続式の場合、発振器からの漏洩はほとんどないがシャッターからの

漏洩対応が難しく、設備費がかさむ。国内では、テンパリング (解凍) などを主体に 20 年ほど前から 915MHz が既に数十台入っている。ただし台数はアメリカの 1/10 程度である。900MHz 帯は波長が長く、プラズマ安定性がよいので大口径のプラズマ CVD に向いている。アルコール類の誘電損率は 900MHz 付近で最大を示すので、溶媒を選択すれば化学反応にむいている可能性がある。海外では、米国では 900MHz 帯の電源は現在千台以上が稼働しており、年 100 台程度売られている。9 割は 75kW で 100kW 級は少ない。85% がフード用でプラズマ用は 15% である。フードのうち 75% がクッキング用で 25% がテンパリングと思われる。軍用 (とくに海軍) での用途が大きい。最近、drycol 社 (オーストラリア) が石炭のマイクロ波乾燥技術を開発し、米国で 915MHz を用いた大規模な発電用石炭の商用化設備 (4MW プラント) を稼働している。また、英国では 915MHz を使って大規模な銅の金属回収、中国でも大規模コークス処理を行っている。

最近国内では小電力用 (5kW) の 915MHz 用マグネトロン電源、さらに半導体式の電源も開発されている。半導体式は周波数帯域 (1kHz 以下) が狭く、マグネトロンと異なり周波数を任意に選択できるメリットがある。ITU (国際電気通信連合) の規格では ISM バンド幅 915±13MHz であるが、マグネトロンの製造バラツキやドリフトによる占有帯域幅は ±3MHz 以下であるので、この帯域幅であれば対応可能である。RFID と共存する場合、ガードバンドを考慮する必要があるため、もし認められるとしたら 917～926MHz あたりとなる。マグネトロンでは周波数安定化技術が、半導体では低価格化と大出力化が求められる。

### 4. 900MHz 帯 ISM バンド調査 WG の活動内容

JEMEA 学会の分科会として、2011 年 10 月に WG を開始し、以下のように計 6 回の打合せを行い、研究会、講演会を開催した。WG は産業界で約 20 名 (アカデミックとメーカー半々) で構成されている。

1 回目打合せ: 2011/9/13 三菱総研 (キックオフミーティング)、2 回目打合せ: 2011/10/6 東工大 (メンバー紹介、WG 開始)、3 回目打合せ: 2011/12/1 パシフィック横浜 (JEMEA シンポジウム)、4 回目打合せ: 2012/1/31 産総研お台場 (JEMEA 研究会、詳細下記①)、5 回目打合せ:

2012/5/30 三菱総研(JEMEA 総会前日)、6 回目打合せ:  
2012/10/5 京都大学(JEMEA シンポジウム、特別セッション(詳細下記②))

WG 分科会として、以下の研究会、講演会を開催した。

①「電波利用と電磁波による電力応用技術 - ISM バンドと 900MHz 帯での利用可能性-」平成 24 年 1 月 31 日、JEMEA 研究会、産総研臨海副都心センター

1)「電波の利用状況と周波数の再編について」竹田義行(NTTドコモ R&D センター、早稲田大学)、2)「これまでの無線電力伝送からみた ISM バンドの周波数問題と対応」篠原真毅(京都大学生存圏研)、3)「RFID と ISM バンド」森川和徳(オムロン)、4)「電磁波エネルギーの医学応用」菊地眞(防衛医科大)

②「915MHz 特別セッション(招待 2 件、一般 5 件、講演後 WG 公開討論)」平成 24 年 10 月 5 日、JEMEA シンポジウム、京都大学

1)「915MHz プラズマによる CVD とその応用」菅井秀郎(中部大)、2)「電波の生体影響及びガイドラインについて」平田晃正(名工大)、3)「産業用加熱分野における 915MHz の応用例について」山本泰司(山本ビニター)、4)「2.45GHz 及び 915MHz の違い、電磁界シミュレーションによるアプローチ」藤立隆史(ニッシン)、5)「永久磁石タイプ 915 MHz マグネトロンの開発」虎井礼司(日立協和)、6)「915MHz 半導体式マイクロ波電源の開発と適用」仙田和章(富士電波工機)、7)「マイクロ波を用いたバイオマスのバイオ燃料化技術」香取義重(三菱総研)

## 5. 総務省へ意見募集と今後の対策

上記 WG での調査活動をもとに、2012 年 5 月に総務省へ「電波の有効利用の促進に向けた検討課題」の意見募集(パブリックコメント)を提出したが、総務省からの回答はなかった。今後の対策として、医療や医薬品合成のほか、プラズマ CVD による表面処理、バイオマスなどの環境・エネルギー分野、電力伝送などの先端技術のシナリオが必要である。915MHz はイオン伝導性が増してマイクロ波の吸収がよくなるので、2.45GHz よりも医療に魅力がある。一方、433MHz では解像度が悪いので、915MHz はセンシングに向いている。915MHz は止血効果もある。エネ

ルギー伝送、情報手段として、915MHz は発信効率が高く、装置コストが安いので魅力がある。電波方式は伝送距離が長く、比較的大きな電力を供給できる。競合する周波数として、RFID のほか、スマートメータ、HEMS がある。今後、スマートメータ専用の周波数帯(920MHz)を使った無線通信が始まる。マグネトロンは±3MHz 以内に収まるが、電波漏洩に対する影響は RFID よりも新規参入の携帯電話(900~915MHz)の方が大きいと思われる。2.45GHz は ISM バンドであっても、実害があると問題となることがある。5.8GHz も同じ周波数帯の ETC(雑音に弱い)が優先される場合がある。情報通信振興会のマイクロ波研究会、ARIB(電波産業会)、JAISA(日本自動認識システム協会)、日本エレクトロヒートセンター(旧、日本電熱協会)などと情報交換、連携して取り組む必要がある。海外では CISPR(国際無線障害特別委員会、特に ISM に関する CISPR11)、米国 FCC(連邦通信委員会)の動向にも注意を払う必要がある。海外との競争力を備えるには米国、欧州に周波数帯をあわせる必要がある。

## 6. 意見募集の内容と総務省の考え方

2012 年に提出した意見募集を一部修正し、2014 年 9 月に「周波数再編アクションプラン」の見直しに係る意見募集を再度提出した結果、総務省から回答が得られた。以下に提出した意見募集内容と総務省の回答を示す。

意見募集の内容(JEMEA 理事長名で提出)：

現状、我が国では ISM バンドの指定周波数帯として、2.45GHz、5.8GHz、24.1GHz 帯が電波法で認められているが、915MHz は認可されていない。電子レンジで用いられている 2.45GHz は、必ずしもマイクロ波加熱に適した周波数ではない。現在市販されているマグネトロン発振器は、915MHz、2.45GHz、5.8GHz であるが、装置の大型化、高効率化、高寿命化の観点から 915MHz が最も適している。915MHz の装置は 100kW 級も市販されており、発振効率 90%以上で、装置寿命も 2.45GHz より数倍長く、単位電力あたりの装置コストが 2.45GHz の半分以下ですみ、今後、産業界で大規模工業化(大量生産)するには 900MHz 帯は必須の周波数となる。また、900MHz 帯は浸透深さが大きいので食品の解凍やバイオ燃料化などに向いており、2.45GHz に比べて材料内部まで均一に加熱が行える。海外の法規制については、以前から北米では 915MHz 帯

の加熱装置が認められているが、我が国では昭和 25 年に制定された無線設備規則に縛られて、現在においても ISM バンドとして認められていない。915MHz を高周波利用設備として利用する場合、電波の漏洩規制値は 2.45GHz より 5~6 桁低い値であり、2.45GHz に比べて非常に厳しい漏洩基準となっている。そのため、915MHz を使用する場合は二重にシールドを施すなどの対策が必要で、シールド設備の方がマイクロ波装置よりも高価になってしまうため、日本では一部の食品関係、耐火物乾燥用以外はほとんど使われていない。最近では中国や韓国でもマイクロ波加熱が盛んになってきており、日本を追い上げてきている。現在、日本電磁波エネルギー応用学会 (JEMEA) を中心に産学界で連携して部会を作り調査活動を行っている。産業科学医療用として 900MHz 帯が ISM バンドで認められる (もしくは規制緩和される) ように、既存制度の見直しをお願いしたい。なお、900-915MHz は既に携帯電話用途に割り当てられているので、915-928MHz において RFID と共用することになるが、当該周波数帯の ISM 化を検討していただきたい。最近、900MHz 帯において、安価で大出力な半導体発振器 (帯域幅 100Hz) や高精度マグネトロン (同 2MHz) が開発されており、無線電力伝送でも使われつつある。これらの技術と共存して、我が国の産業発展に貢献していきたい。

< 提出された意見 > (公開された JEMEA 意見)

マイクロ波加熱の課題として、ISM バンドの法規制があり、現状我が国では 900MHz 帯は電波法で認可されていない。北米では 915MHz 帯の加熱装置が ANSI 基準として以前から認められており、最近では欧州、オーストラリア、ロシア、ブラジル、中国などでも 800-900MHz 帯を用いて大規模なマイクロ波加熱プロセスが行われている。我が国は産業化に有利な 900MHz 帯の利用が遅れており、海外との競争力を備えるには米国、欧州にあわせ、グローバルスタンダードにする必要があります。

< 意見に対する考え方 > (公開された回答)

今回のアクションプラン改定案とは直接の関係がなく、意見募集の対象外ではありますが、頂いた御意見は、今後の参考とさせていただきます。なお、マイクロ波加熱の原理を用いた高周波利用設備の設置に当たっては、電波法において利用周波数の規制はありません。

## 7. おわりに

総務省の 900MHz 帯 ISM バンドに対する意識は薄く、電波の利用には数が重要であり、現状のマイクロ波加熱技術の使用状況を把握し、公共の電波をいかに有効に使うかが、国を説得するカギとなる。キーワードは、どんなニーズがどのくらいあるのか、RFID との共存、無線電力伝送との協力体制、ホワイトスペースの活用、携帯電話 (ソフトバンク 900-915MHz) の影響、マグネトロンの周波数安定度、半導体発振器の積極的な活用等が考えられる。ここ数年の間に、マグネトロンは高性能化、半導体発振器は低コスト化が思った以上に進んでいる感がある。

## 参考文献

- 1) 例えば、NEDO 成果報告書「マイクロ波・高周波加熱を利用した化学プロセスに関する先導調査」平成 22 年 3 月
- 2) 電波法、無線設備規則 (昭和 25 年、46 年告示)
- 3) 総務省、電波利用ホームページ

本報告は、2014 年 11 月発行の最新マイクロ波エネルギーと応用技術 (産業技術サービスセンター)、第 9 章概要の内容を一部修正、加筆した。

表 1 ISM バンドの国際比較

中心周波数	バンド幅	米国	日本	主な用途
13.56MHz	±7KHz	○	○	RFID (誘導式)
27.12MHz	±163KHz	○	○	高周波誘電加熱
40.68MHz	±20KHz	○	○	
433.92MHz	±870KHz	×	×	アマチュア無線
915MHz	±13MHz	○	×	携帯電話、RFID
2450MHz	±50MHz	○	○	電子レンジ、無線 LAN
5800MHz	±75MHz	○	○	ETC、宇宙エネルギー伝送
24.125GHz	±125MHz	○	○	電波センサー

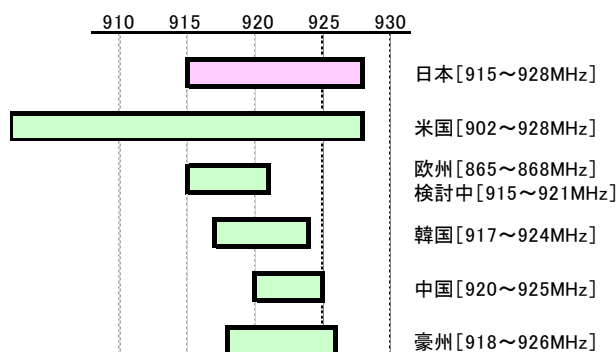


図 1 各国の RFID、スマートメーター用周波数