

地域産業の発展に寄与する電磁波技術に関する研究

(平成11年度～平成13年度)

地域中核オガナイサ（氏名・所属）：長野 勇・金沢大学工学部

1. 研究概要

【実施計画】

石川県の地場産業として、繊維産業や金箔を利用した伝統工芸等のもの作りが活発であったが、最近では、それらの高度な技法を活かして、機械産業や電子産業が基幹産業になってきている。そのような企業において、エレクトロニクス化並びにIT（情報通信技術）化が進むにつれ、産業機器の電磁波雑音による誤動作の問題が新たに発生してきた。また、電子機械産業機器の海外輸出においては、対外国のEMCガイドラインを遵守することが求められており、高度な電磁波測定システムの構築や測定技術の開発及び利用技術の習得が必要になった。また、金沢市内に変電所を建設するに当って、低周波電磁界が人の健康に害を及ぼすのではないかとの社会的不安が話題に上がった。このように、石川県民及び県内の企業において電磁波に関する関心が高まって来た。

一方、石川県の大学（金沢大学、金沢工業大学、石川工業高等専門学校等）においては、電磁波計測技術、電波伝搬理論やアンテナ技術では世界的な水準に達しており、高度な電磁波関連の研究が行われている。また、石川県工業試験場では、電波暗室やシールドルームが設置され、地域の工業製品の電磁波計測に利用されている。このように、電磁波に関する研究では、石川県が先導的に行なう土壌に育って来ている。

そこで、本研究では、石川県の産学官並びに県外の高い水準の研究機関の協力を得て、石川県の地場産業である繊物技術を生かして、産業創出を視野に入れてシールド繊維を開発し、電磁波雑音が及ぼす工業製品の誤動作等のEMC問題の解決に寄与する。低周波から高周波に至るシールド技術並びにそれを評価するためのシールド計算法の確立を目指し、県内のシールド施工企業を支援する。一方、商用周波数から通信衛星までの広い範囲にわたる電磁波の計測技術を確立し、生活空間、産業現場や医療現場における電磁波環境を計測し、その評価を行う。電磁波計測技術の一つの分野として最近注目を浴びている、電磁波の可視化技術に挑戦し、波源位置の測定システムの完成を目指す。また、電磁波利用においては、県外の世界的な電磁波に関する計測及び計算技術を導入し、人体を考慮した次世代高利得携帯電話アンテナの開発や、高周波磁界による選択的癌治療装置の開発等について、今後の石川県の新しい産業創出に必要な基礎研究を行う。

このように本研究は、「電磁波シールド技術」、「電磁波計測評価技術」そして「電磁波利用技術」の3つのサブテーマに分け、平成11年度から平成13年度の3年間にわたり、人間社会における電磁波の科学と技術、とりわけ、石川県の産業の発展に寄与する電磁波技術の研究を進める。それぞれのサブテーマは、以下に示すように5課題から構成されている。なお、初年度と2年度では、全体で14課題を行い、最終年度では、癌治療の評価試験のため1課題を追加し、15課題となっている。

「電磁波シールド技術に関する研究」として

- (1) 電磁波遮蔽用新素材の開発
- (2) 波源を考慮したシールド理論の研究
- (3) シールド効果測定法の開発と評価
- (4) 外来電磁波による情報攪乱と情報漏洩防止対策
- (5) 情報システムのEMCと設置環境の最適化

「電磁波計測評価技術に関する研究」として

- (1) 生活空間や産業現場での電磁波の計測と評価
- (2) 電力設備近傍の電磁界の計測と評価
- (3) 医療施設における電磁環境の計測と評価
- (4) 無人地帯におけるEMC環境評価
- (5) 産業機器における電磁波の特性解析と対策

「電磁波利用に関する研究」として

- (1) 超小型携帯無線機用アンテナの放射特性
- (2) 放射パターンを制御する配列アンテナの特性診断
- (3) 高出力マイクロ波を発生する電子機器の研究
- (4) 誘導電磁波による簡易型誘導加温装置の開発
- (5) 誘導電磁波による超選択的温熱療法の臨床応用研究

を行う。また、関連研究として

- (1) 電磁波遮蔽新素材・製品の開発
- (2) イミュニティ評価試験法の検討
- (3) 新構造電磁波シールドルームの開発
- (4) 企業現場における電磁波環境評価
- (5) 電力設備近傍における商用周波数の解析法の検討
- (6) マイクロ波伝送送受電システムの電磁環境に関する研究

も行う。これらの研究を実施する研究機関、研究代表者ならびに外部結集研究機関を図1に示す。また、研究体制と各サブテーマ間の課題間および3つのサブテーマ間の連携を図2に示す。

各サブテーマ内において赤で囲まれている研究機関がそのサブテーマの幹事で、サブテーマ内の連携並びに研究の進捗状況を把握する。第1サブテーマから第2サブテーマへ、その逆方向には電磁界計測法の支援を行い、互いに連携を取る。第3サブテーマは電磁波利用に関する研究で、第1および第2サブテーマからそれぞれ電磁波シールド技術、電磁波計測技術の提供を受けて互いに連携を取る。このような相互の連携で第1および第3サブテーマは新産業創出並びに既存産業の支援のための研究を行う。第2サブテーマは、生活空間や産業現場における電磁波環境測定資料を社会へ提供する。

なお、エムテック石川とは、研究課題名の英文訳 (ElectroMagnetic TECHnology for ISHIKAWA Industries) の短縮形で、このプロジェクトの愛称であり、そのロゴマークは図2右上にみられ、本研究で用いている。

【研究の概要】

各課題の研究概要は以下のようである。

(1) 電磁波シールド技術に関する研究

①電磁波遮蔽用新素材の開発

電磁波が産業機械の誤動作を発生したり、医療器具に影響を及ぼすことが危惧されている。そのため、これらの防止技術として、電磁波を減衰させ、安全を図ることができるシールド材が必要となる。そこで、石川県の繊維織物技術を活かした電磁波用シールド材の開発を行う。本研究では、炭素繊維をベースとして、その織物技術およびその複合素材を開発し、オフィスルームやシールドルームに利用できる素材を提供し、その機能評価を行う。

②波源を考慮したシールド理論の研究

金属、繊維、セラミックス等のシールド材の材質（電気磁気的定数）や構造（板、繊維等）による電磁波シールド効果特性、およびシールド材と波源の位置関係、または波源の種類（電流源、電磁源）によるシールド効果について主に理論的・数値的に解析する。

③シールド効果測定法の開発と評価

電磁波測定には種々な方法が提案されており、その各々の測定法に関して調査するとともに、その測定値の比較を試みる。また、低周波領域や異方性等を示す特殊材料に対する近傍電磁界シールド効果の測定法を開発する。測定結果と理論値を比較することで、これまで測定が困難だった、薄膜磁性体の電気定数測定システムを開発する。

④外来電磁波による情報攪乱と情報漏洩防止対策

様々な情報機器における外来電磁波による情報攪乱を回避するための防護手法の開発、ならびに外部への情報漏洩を防止する手立てについて開発するとともに重要度に応じた適用指針を策定し、目的と用途に応じた適用の目安を明らかにする。

⑤情報システムのEMCと設置環境の最適化

従来の単体機器のEMC技術および規格をベースとして、実稼動環境における情報システム（各種情報機器の組み合わせ）にEMIおよびイミュニティ特性を把握し、その最適設置環境を設定し、情報シ

システムと設置環境の組み合わせのもとで実証モデルを構築する。

(2) 電磁波計測評価技術に関する研究

①生活空間や産業現場での電磁波の計測と評価

生活空間や企業活動の現場で多用される電磁気的雑音（溶接機等）に対する電子機器の耐性は、今後ますます重要となってくる。そこで家庭や生産現場におけるEMCレベルを定量的に、長期間に渡って計測できる移動可能な自動モニタリングシステムを開発する。さらに、その測定システムを利用して、生活空間（オフィス、公共広場等）や産業活動空間での電磁界強度の測定を行い、観測データを収集し各種EMC規格と比較評価を行う。

②電力設備近傍の電磁界の計測と評価

電力消費の拡大とともに、都市近傍の配電設備および配電線の容量増加が著しい。さらに、北陸地区の発電地域と太平洋側の大消費地域間における大容量送電線の敷設が増大している。電力設備近傍における環境磁界を継続的に測定し、電気機器類から漏洩される電磁界分布、強度、周波数成分の範囲を明らかにするとともに、その評価を行って磁界環境について提言する。

③医療施設における電磁環境の計測と評価

高度医療に伴い医療施設においては、精密な電子機器類や高感度電子センサからなる診断装置が設置されている。一方、磁気共鳴医用画像装置（MRI）では直流の強磁界が、電気メスにおいては高周波大電流が使われている。このような医療機関における直流から高周波にわたる電磁界環境を計測・評価し、建物屋内における対策法の指針を検討する。

④無人地帯におけるEMC環境評価

地球電磁環境のバックグラウンドレベルを明らかにするため、南極、北極などの無人地帯におけるEMC環境評価を過去の10数年にわたる観測データに基づき行う。

⑤産業機器における電磁波の特性解析と対策

工作機械やテレビ等からの不要電磁波の発生箇所を特定する測定方法を開発するために、機器から放射される電磁波ノイズの波形を複数の電界・磁界センサで受信して相関処理を行い、コンピュータの画面上でその強度分布を可視化するシステムを構築する。また、このシステムを利用して、不要電磁波ノイズの防止技術の確立を目指す。

(3) 電磁波利用に関する研究

①超小型携帯無線機用アンテナの放射特性

携帯端末は小型化が進み今後、腕時計型やカード型といった形状の変化、ビジュアル端末やPDAのような用途の変化が考えられる。腕時計型やカード型携帯無線機において、人体を含んだアンテナ系の放射特性を実験・計算により検討し、超小型携帯機用アンテナに求められる最適な特性・仕様を見出すことを研究の目的とする。

②放射パターンを制御する配列アンテナの特性診断

アンテナ近傍界測定システムを用いて、フェーズドアレーの各素子の位相量（および振幅）を求める手法の研究を、実際のアンテナを用いて実験的に実施する。近傍界測定法にはいくつかの種類があるが、ここでは比較的利得の高いペンシルビームアンテナを対象とする平面走査法、および一方向のビーム幅が狭いファンビームアンテナを対象とする円筒面走査法の二つを取り上げ、それぞれの場合について研究を実施する。

③高出力マイクロ波を発生する電子機器の研究

マイクロ波を利用した通信や、食品加熱等による不要電磁波がEMC評価において問題となっている。本研究では、電磁界解析手法であるFDTD法や、電子機器内部の電子やイオンの動作まで解析可能な電磁粒子モデルを用いた計算機実験の手法による、高出力マイクロ波発生電子機器の電磁波環境解析手法の確立を目指す。並行して、マイクロ波発生電子機器の電磁環境についての実験的測定も進める。

④誘導電磁波による簡易型誘導加温装置の開発

選択的に癌細胞だけを加温することにより、中波帯（200～400kHz）の電磁波を利用して癌治療が可能となる簡易型電磁誘導加温装置の開発を目指す。これまでの加温装置は真空管を利用して製作されてきたが、装置自身が大きくそして重く、臨床応用するには医療関係者には扱いにくい装置であった。本

研究では、最新の半導体技術を利用して、小型・高効率の誘導加温装置を製作するとともに、デキストランマグネタイト（DM）との加温特性を評価し、臨床応用に可能な誘導加温装置を開発する。

⑤誘導電磁波による超選択性温熱療法の臨床応用研究（平成13年度のみ）

誘導加温法による腫瘍の超選択性加温を目的として開発された複合体デキストランマグネタイト（DM）と小型・高効率の誘導加温装置を用いて、小動物内癌細胞のみを加温しその効果を評価することにより、実際の臨床応用への可能性を図るとともに、より効率のよい超選択性温熱療法の完成を目指す。

これらの研究概要をポンチ絵で表すと図3のように描ける。

エムテック石川の参加研究機関

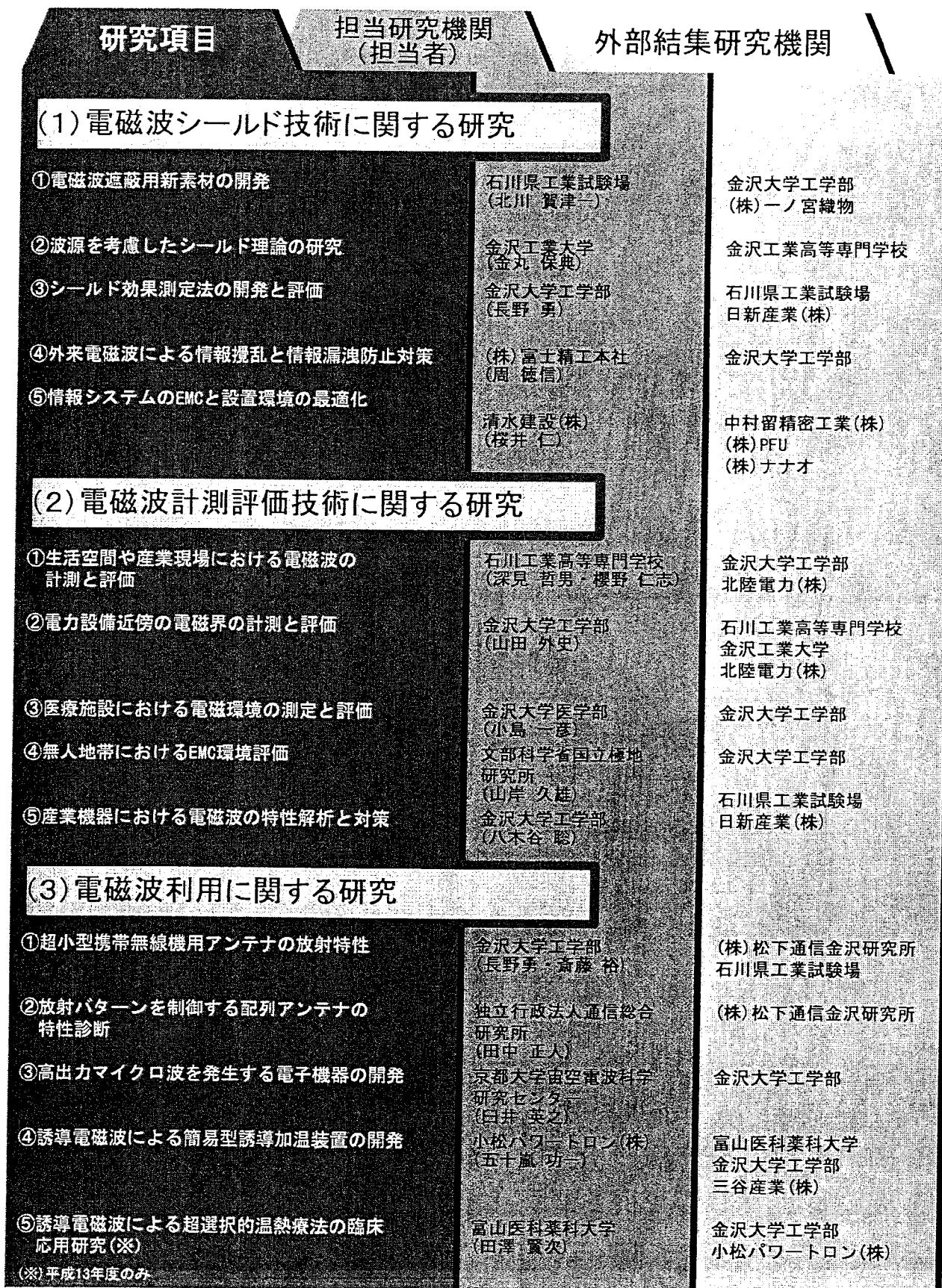


図1 エムテック石川研究項目別担当機関と研究代表者

「地域産業の発展に寄与する電磁波技術に関する研究」の研究体制

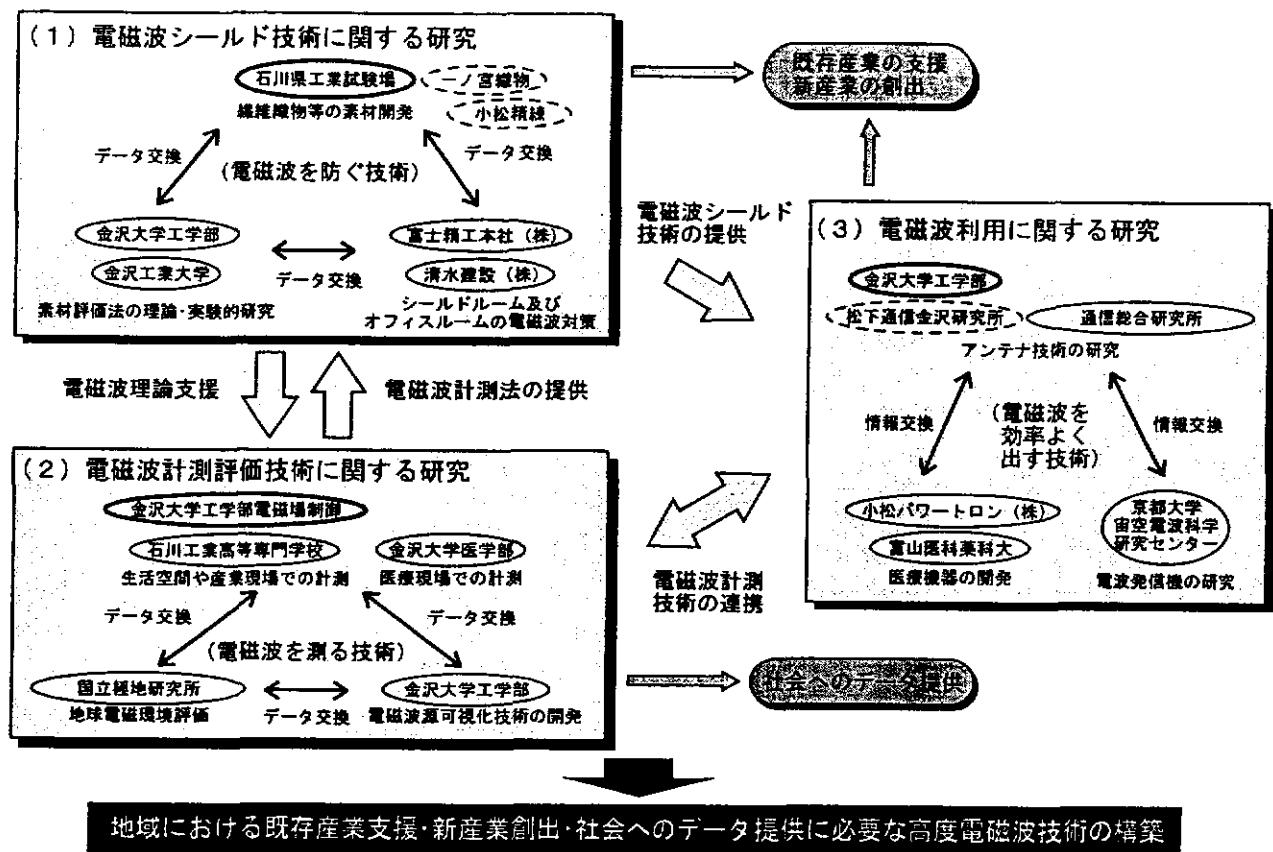


図2. 研究体制と連携

研究の概要

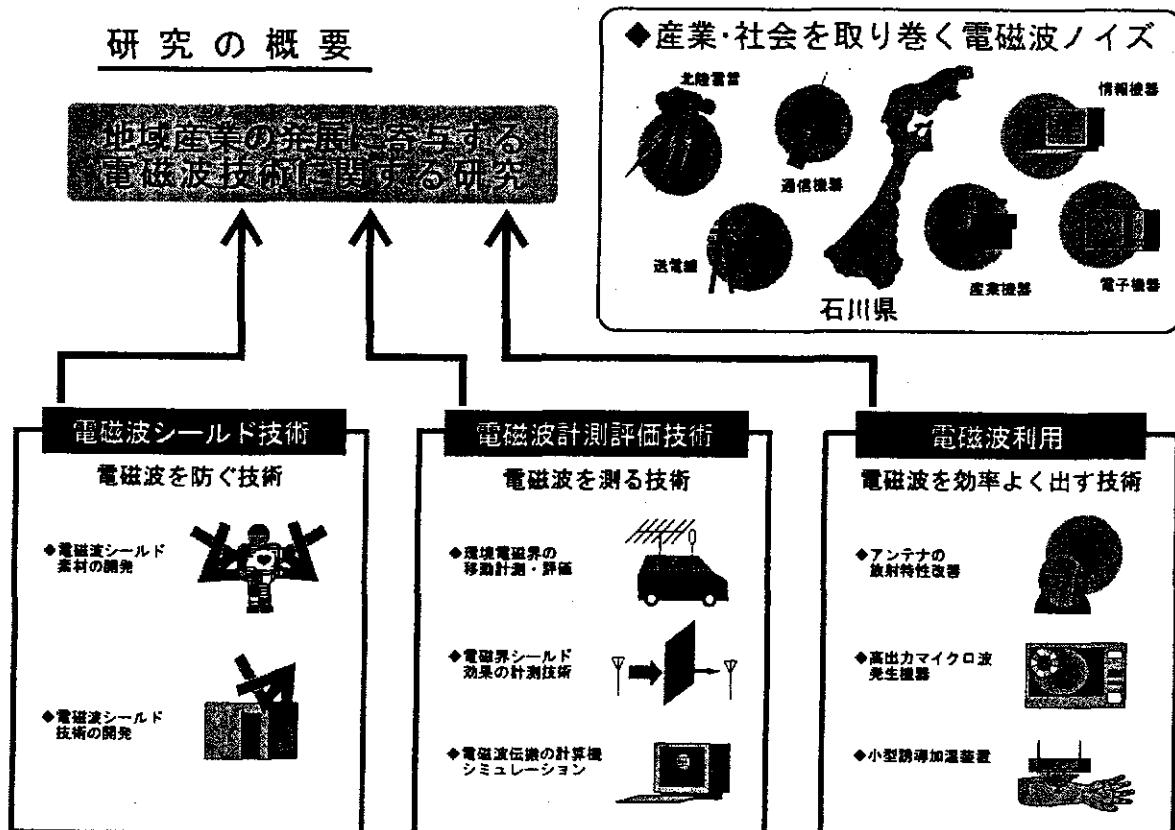


図3. 研究の概要

2. 所用経費一覧

研究項目	研究担当機関	研究担当者	平成12年度 所用経費	平成13年度 所用経費	平成14年度 所用経費
1. 電磁波シールド技術に関する研究					
①電磁波遮蔽用新素材の開発	石川県工業試験場	北川賀津一	8,169	7,478	5,403
②波源を考慮したシールド理論の研究	金沢工業大学	金丸保典	7,652	4,656	2,859
③シールド効果測定法の開発と評価	金沢大学工学部	長野勇	4,957	5,594	3,836
④外来電磁波による情報攪乱と情報漏洩防止対策	(株)富士精工本社	周徳信	5,000	5,766	7,305
⑤情報システムのEMCと設置環境の最適化	清水建設(株)	桜井仁	3,436	3,639	11,831
2. 電磁波計測評価技術に関する研究					
①生活空間や産業現場での電磁波の計測と評価	石川工業高等専門学校	深見哲男・櫻野仁志	7,229	7,132	3,041
②電力設備近傍の電磁界の計測と評価	金沢大学工学部	山田外史	6,449	7,208	4,000
③医療施設における電磁環境の計測と評価	金沢大学医学部	小島一彦	5,438	5,163	2,001
④無人地帯におけるEMC環境評価	文部科学省国立極地研究所	山岸久雄	1,265	1,527	1,040
⑤産業機器における電磁波の特性解析と対策	金沢大学工学部	八木谷聰	5,824	5,644	5,460
3. 電磁波利用に関する研究					
①超小型携帯無線機用アンテナの放射特性	金沢大学工学部	長野勇・斎藤裕	3,851	4,210	6,874
②放射パターンを制御する配列アンテナの特性診断	独立行政法人通信総合研究所	田中正人	4,045	5,200	2,310
③高出力マイクロ波を発生する電子機器の研究	京都大学宇宙電波科学研究センター	白井英之	3,724	5,069	4,427
④誘導電磁波による簡易型誘導加温装置の開発	小松パワートロン(株)	五十嵐功一	7,068	7,299	6,552
⑤誘導電磁波による超選択性温熱療法の臨床応用研究	富山医科薬科大学	田澤賢次	—	—	2,976
4. 研究運営			5,721	5,414	3,945
合 計			79,828	80,999	73,860

3. 研究成果の概要

石川県の産官が有するもの作り技術、学の有する高度な電磁波計測・解析技術に、国立研究所並びに県外の高水準の技術を取り入れ、地域産業におけるEMC技術支援、地域社会に発生している電磁波問題の解決、世界に誇れる研究、そして電磁波関連産業の創出を狙って、「エムテック石川」プロジェクトでは「電磁波シールド技術」、「電磁波計測技術」そして「電磁波利用技術」の3つのサブテーマに分け、平成11年度から平成13年度の3年間に渡り研究を行ってきた。初年度から2年度にかけてはこの3つのサブテーマをそれぞれ4~5個のテーマに分割し総計14テーマで行われた。最終年度は、癌治療用装置の評価試験のため、1テーマ増として、全体で最終年度は15テーマとなった。幸いなことに年度途中で中断する研究テーマはなく、すべて初期の目的を達した。最終年度には、サブテーマ内の相互の技術や理論を連携することに配慮され、3年間で得られた成果は次のとおりである。

「電磁波シールド技術」

石川県の織物技術を活かして、炭素繊維単体及び他金属繊維との複合繊維を製作し、シールド材を新規に開発した（石川県工業試験場）。シールドルーム製作会社では、簡易シールド工法を開発した（富士精工本社）。情報化時代のシールドオフィスルームの指針として、周波数2.5MHz~3GHz、シールド特性30dBを遵守する工法の開発をした（清水建設）。学では、シールドルームのシミュレーション技術を開発した（金沢工業大学）。また、シールド材の電気定数の測定法及びシールド布等の薄膜シールド材のシールド計算法を開発した（金沢大学工学部）。もの作りにおける成果は、新産業創出、地域産業の活性化に寄与できる。また、シールドルームのシミュレーションは、シールド施工会社の設計に利用できるものであり、シールド計算法は、ペースメーカーの誤動作を防ぐためのシールド服等の効果を評価することに適用できるものである。

「電磁波計測評価技術」

電磁波を対象として、商用周波数から携帯電話の周波数までの範囲に渡り、生活空間や産業現場（石川高専）、電力施設（金沢大学工学部）、医療施設（金沢大学医学部）や無人地帯（国立極地研）における電磁波環境の計測並びにその評価技術の研究が行われた。また、産業機器からの電磁波ノイズ源を同定し可視化するシステムが構築された（金沢大学工学部）。もの作りにおけるEMC規制の準拠を支援するための産業界並びに企業への高度な電磁波計測技術の提供を可能にした。取得した電磁波環境データは、情報機器、医療機器などの電子機器の誤動作に対して、安心して暮らせる社会生活に寄与できる。これらのデータはインターネットで一部公開している。また、電磁波の可視化技術は学術的には高いレベルに達しており、今後世界的な研究レベルに達し得るばかりでなく、不要電磁波源の場所並びに放射電力の測定等に利用できる企業向きの技術でもある。

「電磁波利用技術」

石川県における電子機械産業の電波産業の進出を視野に入れて、電磁波の利用技術について研究が行われた。次世代の超小型携帯電話アンテナの開発に成功した（金沢大学工学部・松下通信金沢研究所）。誘導電磁波による小型癌治療器の開発に成功した（小松パワートロン）。また、外部の高度な電波技術の地域への技術移転を視野に入れ、電子レンジの理論シミュレーション（京都大学宇宙電波研究所）、配列アンテナの特性診断（総務省通信総合研究所）が行われた。超小型アンテナの開発では、従来のアンテナに比して高感度なカード型及び腕時計型アンテナが新規に開発され、国内外の特許を出願した。次世代携帯電話アンテナの候補として期待されている。また、誘導電磁波をDM（デキストランマグネット）に照射して、選択的に癌治療する小型装置を開発した。この装置を使ってDMの発熱特性を明らかにした。特に周波数300kHzで磁場強度が3mTあれば、細胞の温度は42度以上に加温できることを実験で示した。この装置を利用して、癌を移植した動物実験が行われ、癌が縮小することが確認された（富山医科大学）。今後、この装置を臨床実験用に改良できれば、大きな産業創出につながるものと期待できる。

各サブテーマの成果をポンチ絵で表すと別紙のように描ける。

これらの成果は学術論文並びに新聞等の発表で行われた。それらを年度別に示すと次の表のようである。

特に、表にも見られるように本研究では、若い学生の教育・研究の場としても生かされ、卒業研究、修士研究で、延べ58名の学生が研究に従事した。また、この研究課題を通じて、すでに工学博士が1名誕生し、引き続き2名が研究をしており彼らも工学博士を取得する予定である。このように石川県から、電磁波関連の人材育成も行えた。

なお、「エムテック石川」の研究を広く知っていただくために、ホームページを構築した。
(<http://www.reg.is.t.kanazawa-u.ac.jp/emteq/top.htm>)

電磁波は眼に見えずまた手で捕まえることもできず、研究の対象としてはどちらかと言えば難しい分野に入るが、高度な社会生活において電磁波の利用は通信・計測医療の分野では必要不可欠になり、空気のような存在になりつつある。従って、高度情報化社会において電磁波を利用する産業は今後ますます増加し発展することが予想される。このような社会情勢で、このエムテック石川で、電磁波の総合的な研究が行われたことは大変有意義であった。

この研究では、超小型携帯電話アンテナの開発のように、ほぼ完成度の高い研究もあるが、残念ながら完成した技術・理論や製品までの研究開発に至っていないものもある。しかしある少しだけすれば、世界的な技術あるいは大きなビジネスに発展する芽が見つけられたと思う。特に、小型癌治療器は、継続して補助金等の研究資金を注入することで、商品化できる可能性が大きい。また、電磁波可視化技術は、いろいろな分野での応用が考えられ、更なる研究が必要である。

電磁波環境の測定技術は、特に低周波(1kHz以下)帯では、日本並びに世界に誇れる技術である。測定の標準化を提案することで、ビジネスに展開できる可能性がある。

シールド技術に関しては、有力な地元産業（繊維産業、シールドルーム産業）があり、この研究で得られた成果を、石川県工業試験場並びに石川県産業創出機構の協力のもとで、試作したシールドルームを展示して、業界への波及に努める必要がある。

4. 研究成果公表等の状況

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国内	18 (3) 件	15 件	71 件	104 (3) 件
国外	13 (3) 件	1 件	9 件	23 (3) 件
合計	31 (6) 件	16 件	80 件	127 (6) 件

(注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

【特許出願等】 8件 (国内 6件、国外 2件)

【受賞等】 2件 (国内 2件、国外 0件)

- ・北國文化賞 (平成12年11月3日) 金沢大 長野勇
- ・産学連携推進いしかわ賞 (奨励賞) (平成13年11月22日) 金沢大 八木谷聰

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact Factor	グループ			合計
		1	2	3	
Bioelectromagnetics	1. 947	0	2	0	3. 894
IEICE Transactions on Communications	0. 386	0	0	4	1. 544
主要雑誌小計					
発表論文合計	2. 333	0	2	4	5. 438

【広報活動一覧】

【新聞】

1. 北國新聞 平成11年4月9日 エムテック採択
2. 北國新聞 平成11年4月13日 衣料開発
3. 北國新聞 平成11年4月18日 社説
4. 北國新聞 平成11年7月2日 プロジェクト始動
5. 毎日新聞 平成11年8月3日 全国版（エムテック紹介）
6. 北陸中日新聞 平成11年10月7日 エムテック石川始動
7. 北國新聞 平成12年1月21日 新技術フォーラム
8. 日刊工業新聞 平成12年8月24日 地域中核オーガナイザー
9. 北國新聞 平成12年10月29日 北國文化賞
10. 北國新聞 平成13年6月21日 がん退治に新電磁波装置
- 11～15. 日刊工業新聞他 4 平成13年12月21日 モデルルーム開設
- 16～17. 富山新聞他 1 平成14年3月10日 電磁波で癌細胞根絶

【テレビ】

1. 北陸放送 平成13年2月9日 金沢大学教育開放センター

【紹介記事】

1. 金沢大学共同研究センターニュース 平成11年12月号
2. 商工石川 平成11年12月号

3. 電子情報通信学会本誌（小特集） 平成13年10月号

4. BUSINESS COMPUTER NEWS 平成13年9月17日

【講演】

1. 石川県産業創出支援機構 平成12年1月20日 エムテックの研究成果
2. 石川県産業創出支援機構 平成12年3月17日 人間社会における電磁波環境
3. 金沢市ロータリークラブ 平成13年2月26日 電磁波技術と地域産業
4. シンポジウム2001大阪 平成14年2月12日 明日を目指す科学技術

【特許出願内容一覧】

件数	研究機関名	発明の名称	発明者	出願日	出願番号
1	石川県工業試験場	電磁波多層吸収材	山名、北川、吉村、出村、向、寺井	2001年4月	2001-104880
2	㈱富士精工本社	シールドパネル材の連結構造	越田、周、北出	2001年7月	2001-223696
3	金沢大学工学部 (㈱松下通信金沢研究所)	アンテナ装置及びそれを用いた腕時計型無線装置	斎藤、長野、春木	2000年11月	2000-01942
4	同上	Antenna Apparatus and Wristwatch Radio Communication Device using Same	Saito Nagano Haruki	2000年11月	
5	同上	アンテナ装置	斎藤、長野、春木	2001年2月	2000-252071
6	同上	An Antenna Apparatus and a Portable Wireless Communication Apparatus	Saito Nagano Haruki	2001年2月	
7	独立行政法人 通信総合研究所	近傍解測定装置を用いたアンテナ特性測定装置及び特性測定方法	田中、堀、三浦	2001年	2001-44615
8	小松パワートロン㈱	生体用誘導加温方法及びその装置	五十嵐、長江、寺井、田澤、長野	2001年6月	2001-170948