

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	自己干渉および外来干渉抑圧技術を活用した FM 放送システムの実現に関する研究 (Study on realization of FM broadcasting system using self-interference and external-interference suppression technique)
氏 名 (Name)	恵良 勝治
<p>FM ラジオ放送は、FM 補完中継局制度の導入やコミュニティ放送局の急増により FM 放送用周波数はひっ迫しており FM ラジオ放送への新たな周波数割り当ては困難な状況にある。こうした状況を踏まえコミュニティ放送や県域 FM 放送局、FM 補完放送そして難聴地域解消を目的としたギャップフィラー等についてデジタル技術を活用した FM 同期放送技術が期待された。</p> <p>2014 年、AM ラジオの難聴対策として総務省の民放ラジオ難聴解消支援事業が制度化し、全国的に FM 補完中継局整備が開始された。そこで AM ラジオの外国波混信や都市型雑音などのラジオ難聴調査と FM 補完中継局整備を進める中、同一周波数でエリアを拡げ聴取者の利便性向上や周波数の有効利用を実現する FM 同期放送の基本システムを考え、デジタル型変調器を用い GPS/GNSS 測位衛星から受信する 1PPS (Pulse Per Second) を基準とした独立同期方式を考案した。</p> <p>日本のラジオ放送は開始から 2025 年 3 月に 100 年を迎える。その 100 年の間に受信機は鉱石ラジオから真空管、トランジスタ、そして DSP へと進化し、その受信感度も格段に向上してきている。</p> <p>2011 年に発生した東日本大震災において、震災発生時に利用したメディアとしてラジオの評価が最も高く、震災発生時はラジオが唯一の情報入手手段であったなど、ラジオの評価が高かったという調査結果が出ている。そこで総務省では、2014 年 4 月に、AM 放送の難聴（都市型難聴、外国波混信、地理的・地形的難聴）対策や災害対策を目的として、FM 補完中継局（AM ラジオ放送を補完する FM 中継局）の開設を可能とするための制度整備（「基幹放送用周波数使用計画」の変更等）を行った。山口放送は AM 放送の難聴や災害対策として 2014 年（平成 26 年）に FM 補完放送のシステム設計を開始した。FM 放送エリアは AM 放送エリアより非常に狭いことから、FM 放送は各送信所毎に周波数を変更する必要がある。そこで FM 放送でも同一の周波数で放送エリアを広くすることが聴取者のメリットと確信し、電波の有効利用にもつながらる FM 同期放送ネットワークの実現を目指して研究を開始した。</p> <p>現在、将来の AM 放送の FM 放送への転換（F 転）の計画において FM 補完局の新たな中継局の整備の必要性が検討されており、使用する周波数帯の受信状況によっては混信対策が必須の課題となる場合がある。FM 補完中継局では主としてアナログ TV 放送の跡地である 90～95MHz が利用されている。この周波数帯は韓国や中国においても大電力型の FM 放送帯として利用されているため、スポラディック E 層などの電離圏の影響による外国波混信対策が必要となる場合がある。そこで、混信やマルチパス干渉のある受信環境においても高品質な放送を実現する、FM 干渉抑圧装置を研究した。</p> <p>FM 同期放送技術については放送局（演奏所）と中継局（送信所）を結ぶ番組中継回線の TTL (Transmitter to Transmitter Link) などの専用回線を使用し送信機にベースバンド信号 (AES 信号) を受信しデジタル変調して送信する、「デジタル変調器」を開発したことで高精度な同期放送を実現してきた。しかしながら中継回線に専用回線を使用する場合、専用の伝送装置やアンテナ設備が別途必要であることからシステム全体が高額となることが、その普及が進まない大きな要因となっていた。そこで専用回線を必要としない番組伝送方式である「放送波中継方式」を活用した同期放送技術の研究を開始した。</p> <p>「放送波中継方式」では通常、上位局の放送波を受信し下位局では上位局と異なる周波数で送信するが、新たな技術「自己干渉抑圧装置」では上位局と下位局とが同じ周波数で送信する単一周波数ネットワーク SFN (Single Frequency</p>	

Network）を構築できる。しかし自己干渉抑圧装置だけでは、下位局波は上位局波より約 $200\mu\text{s}$ 遅延が発生するため、上位局波と下位局波が重複するエリアで遅延調整ができないことから干渉歪が発生するほか、「FM 同期放送の技術的条件（3.1.1 に記載）」に適合しないといった大きな課題が残った。

そこで本研究の成果として筆者がその解決策を考案し、「新 FM 伝送方式による同期放送技術」を第 5 章に記載した。本方式は災害時に臨時に開設する臨時災害 FM 放送局などへの活用が期待される。さらに本技術はメーカー及び山口大学と共同で 2024 年 5 月に特許協力条約（PCT:Patent Cooperation Treaty）に基づく国際出願をしたのち、8 月に国際調査機関からの国際調査報告で新規性、進歩性、産業上の利用可能性全てを有する結果となり、11 月 29 日、国内特許を取得した。（特許第 7595863 号，特願 2024-560556）

更に 2024 年 6 月に発足した、総務省中国総合通信局「超短波放送（FM ラジオ放送）における同一周波数放送波中継による同期放送に関する調査検討会（座長：山口大学大学院 村田英一教授）では、第 4 章で説明した FM 回り込みキャンセラ装置を活用することで国内初となる放送波中継による同一周波数放送の実用化を目指すこととしている。

山口放送が取り組んだ FM 補完放送は 2014 年から今年で 10 年目を迎え、県内のほぼ全域で FM ラジオが聴取できるようになった。この FM 同期放送技術は各方面からも高い評価を頂いており、2024 年 11 月現在で全国 57 社、224 式導入されている。ラジオは乾電池で情報を長時間聴取可能で、特に災害時の情報を入手する手段としては有効なメディアである。大学では「災害時における地域貢献」をテーマとし、今までの業績を踏まえ山口放送と連携して研究を進めてきた。2025 年 3 月 22 日、日本でラジオ放送を開始し 100 年を迎える。日本の放送史において重要な節目となるこの年に、本研究の成果が災害時に多くの人々の生命及び財産を守るための情報をいち早く伝える一助となることを期待する。

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	自己干渉および外来干渉抑圧技術を活用した FM 放送システムの実現に関する研究 (Study on realization of FM broadcasting system using self-interference and external-interference suppression technique)
氏 名 (Name)	ERA Masaharu
<p>Currently, the necessity of developing new relay stations for FM complementary stations is being considered in plans for future conversion of AM broadcasting to FM broadcasting (F conversion), and depending on the reception conditions of the frequency band to be used, measures to prevent interference may become an essential issue. FM complementary relay stations mainly use 90-95 MHz, which is the former site of analog TV broadcasting. Since this frequency band is also used as a high-power FM broadcasting band in Korea and China, countermeasures against foreign wave interference due to the effects of the ionosphere, such as the sporadic E layer, may be necessary. Therefore, we have studied FM interference suppression equipment to realize high-quality broadcasts even in a reception environment with interference and multipath interference.</p> <p>For FM synchronized broadcasting technology, we have developed a “digital modulator” that receives a baseband signal (AES signal) and digitally modulates it for transmission to a transmitter using a dedicated line such as TTL (Transmitter to Transmitter Link) for program relay lines connecting a broadcasting station (performance station) and a relay station (transmission station). The development of digital modulators has realized highly accurate synchronized broadcasting. However, the use of a dedicated relay line for the relay line requires separate dedicated transmission equipment and antenna facilities, making the entire system expensive, and this has been a major factor in the lack of widespread use. Therefore, we began research on synchronized broadcasting technology using the “broadcast wave relay system,” a program transmission method that does not require a dedicated line.</p> <p>In the “broadcast wave relay system,” a lower station usually receives broadcast waves from a higher station and transmits on a frequency different from that of the higher station, but the new “self-interference suppressor” technology can construct a single frequency network SFN (Single Frequency Network) in which the higher and lower stations transmit on the same frequency. However, the self-interference suppressor alone generates a delay of approximately 200 μs for the lower station wave compared to the upper station wave, resulting in interference distortion due to the inability to adjust the delay in areas where the upper and lower station waves overlap, as well as not meeting the “technical requirements for FM synchronous broadcasting (described in 3.1.1)”. As a result of this research, the author devised a solution and described “Synchronous Broadcasting Technology Based on a New FM Transmission System” in Chapter 5. This system is expected to be used for temporary disaster FM broadcasting stations that are temporarily established in times of disaster. In addition, after filing an international application based on the Patent Cooperation Treaty</p>	

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)
(about 800 words)

(PCT) in May 2024 in collaboration with the manufacturer and Yamaguchi University, the international search report from the international search organization in August showed that the technology had novelty, inventive step, and industrial applicability, and a domestic patent was granted on November 29, 2024. On November 29, a domestic patent was granted. (Patent No. 7595863, Patent Application 2024-560556)

Furthermore, in June 2024, the Chugoku Bureau of Telecommunications of the Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) launched a study group on synchronized broadcasting by relaying broadcast waves of the same frequency in ultra-short wave broadcasting (FM radio broadcasting) (Chairperson: Professor Eiichi Murata, Yamaguchi University Graduate School), which is aiming for the first practical application of broadcast wave relay with the same frequency in Japan by using the FM rotational cancellation device described in Chapter 4. The committee (chairperson: Prof. Eiichi Murata, Graduate School of Yamaguchi University) is aiming for the first practical application of same-frequency broadcasting by relaying broadcast waves for the first time in Japan by using the FM rotational cancellation device described in Chapter 4.

This year marks the 10th year since the Yamaguchi Broadcasting Corporation started FM complementary broadcasting in 2014. FM radio can now be heard in almost all areas of the prefecture. This FM synchronous broadcasting technology has been highly evaluated in various fields, and as of November 2024, 224 systems have been installed by 57 companies nationwide. Radio is an effective medium for obtaining information, especially in times of disaster, because it can be used for long periods of time on dry batteries. On March 22, 2025, it will be 100 years since radio broadcasting started in Japan. We hope that the results of this research will contribute to the rapid transmission of information to protect the lives and property of many people in the event of a disaster, as this will be an important milestone in the history of broadcasting in Japan.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	恵良 勝治
審 査 委 員	主 査：村田 英一
	副 査：田村 慶信
	副 査：福士 将
	副 査：井田 悠太
	副 査：ト キン
論 文 題 目	自己干渉および外来干渉抑圧技術を活用した FM 放送システムの実現に関する研究 (Study on realization of FM broadcasting system using self-interference and external-interference suppression technique)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>本研究ではFM ラジオ放送の利便性と周波数利用効率を高めることができる FM 同期放送の効率的な展開を目的とした諸技術を提案しその有効性を明らかにしている．すなわち，AM ラジオ局が FM ラジオ局に転換する流れの中で，聴取エリアが限られる FM ラジオでは隣接する送信所毎に送信周波数が異なるため特に車両などで移動する聴取者は頻繁な受信周波数変更が必要となることと，多数の送信周波数を必要とすることを送信局側の技術によって改善することである．特に，これら改善を低コストである放送波中継技術で実現することを特徴とする．</p> <p>最初に FM 同期放送技術について詳細に検討している．FM 同期放送では複数の送信所からの信号が届くエリアにおいて正確に同じ瞬時周波数で受信されることが理想である．この特性を実現するためのデジタル変調器の構成方法と同期放送の成立条件を明らかにしている．加えて，同期放送など同一周波数で構成する放送ネットワークである SFN (Single Frequency Network) ではこれまで放送品質測定は夜間などの停波時にしか実施できなかった課題に対し，放送中のインサービス状態で放送品質測定を可能とする SFN アナライザを考案しその有効性を実験的にも明らかにしている．</p> <p>さらに，低コストである放送波中継を実現するためには自己干渉を抑圧する技術が必須となる．アナログ変調方式では困難とされるこの技術を新しく開発し，実験局を用いて実際のフィールドにおいて検証を行い，この技術によってアナログ放送においても同一周波数での放送波中継が可能となることを実証している．また，この技術を外来の干渉であるマルチパス干渉や海外局からの干渉対策として発展させ，総合的な干渉除去型中継装置として機能することを示している．</p> <p>本研究の最後のステップとして，放送波中継では避けられない遅延時間の解消に取り組み，モノラル放送となることを許容すればステレオ用帯域の一方を中継専用を活用して遅延時間の問題が解決できることを示している．この技術により，FM 同期放送を放送波中継によって自在に実現で</p>	

(様式 9 号)

きる新たな FM 伝送方式が実現可能となる。本研究ではその構成法と初期実験結果、システム実装についても議論している。最後に、FM ラジオ放送を活用する防災関連ネットワークの社会実装についても述べられている。

公聴会を実施し、19 名の聴講があった。公聴会における主な質問内容は、独自に技術開発に成功した経緯や FM ラジオの放送エリアの特徴、災害時の臨時送信所の設置場所に関するもの、干渉を抑圧するアンテナからの信号合成方法や自己干渉の抑圧、処理遅延に関するものなどであった。いずれの質問に対しても発表者からの確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。(関連論文 計 3 編)

- [1] 恵良勝治, 河野憲治, 山根実, 村田英一, マルチパスおよび外来信号に対する FM 干渉抑圧装置の開発, 映像情報メディア学会誌, 78 巻 6 号, pp. 683-688, 2024 年 11 月.
- [2] 恵良勝治, 河野憲治, 山根実, 村田英一, 新 FM 伝送方式による同期放送システム, 映像情報メディア学会誌, 79 巻 1 号, pp. 135-138, 2025 年 1 月.
- [3] Masaharu Era, Hidekazu Murata, Actual Field Performance of FM Interference Cancellation Technique Against Multipath and Foreign Signals, 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2023), 2023 年 10 月.