

電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会 2024年10月16日

八木・宇田アンテナの発明と UHF帯長距離通信への応用

東北大学名誉教授
澤谷邦男

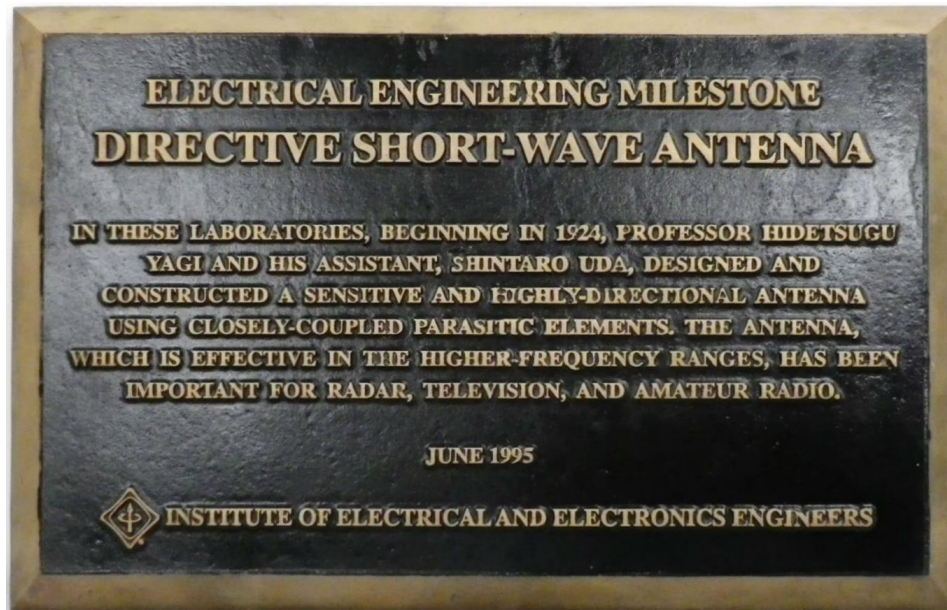
Invention of Yagi-Uda Antenna and Its Application
to Long-distance UHF Communications

Kunio Sawaya
Professor Emeritus, Tohoku University

参考文献

- [1] Kunio Sawaya, "Historical Review of Research and Development of Linear Antennas in Tohoku University," IEICE Transactions on Electronics, vol.E98-C, No.7, pp.616-620, July 2015.

八木・宇田アンテナ発明から100年



- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 電気電子技術者協会) 本部から東北大学に1995年に献呈されたマイルストーン（世界で26番目, IEEE Region 10では初めて）
- タイトルは「短波指向性アンテナ」
- この銘板には1924年始めにこのアンテナが発明されたと記述されている。

自己紹介



八木秀次教授
(1886-1976)



宇田新太郎教授
(1896-1976)



虫明康人教授
(1921-2020)

- 八木・宇田アンテナの設計
- 自己補対アンテナの発明 (IEEE Milestone)



安達三郎教授
(1930-2015)

- 1波長ループアンテナの研究
- プラズマ中のアンテナの研究

- 宇田新太郎研究室出身の虫明康人教授及び安達三郎教授の下でアンテナ工学・電磁波工学の研究に従事
- 八木先生にお会いしたことはありません
- 宇田新太郎先生とは1971年の第1回ISAP(仙台)でお会いしました

発表の内容

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
- 八木・宇田アンテナ
 - 八木・宇田アンテナの発明と開発
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
- VHF/UHF 帯送受信機の開発
- ニューマン文書

東北大学の歴史

1907年 3番目の帝国大学として東北帝国大学設立
 学部は理学部(理科大学)と農学部(農科大学)の2学部
 農科大学は札幌(後の北海道大学農学部)

1886年 ①東京帝国大学

1897年 ②京都帝国大学

1907年 ③東北帝国大学

1911年 ④九州帝国大学

1918年 ⑤北海道帝国大学

1924年 ⑥京城帝国大学

1928年 ⑦台北帝国大学

1931年 ⑧大阪帝国大学

1939年 ⑨名古屋帝国大学



東北帝国大学理科大学本館 / 明治44年(1911)頃
 庶務部庶務課移管東北帝国大学創設期写真より

東北大学電気工学科の歴史

1919年 東北帝国大学に工学部設置

機械工学科, **電気工学科**, 応用化学科の3学科

1935年 **電気通信研究所**設置

1941年 **通信工学科**設置

1949年 東北帝国大学を主な母体とした新制東北大学設立

1958年 **電子工学科**設置

1984年 **情報工学科**設置



東北帝国大学工学部電気工学科の特徴

- 明治~第二次世界大戦までの我が国の大学の電気工学の研究・教育の主流は発電機などの大電力機器を扱う強電工学であった。
- 八木秀次教授は1913年から1916年にかけて独，英，米に留学し，電気工学の将来は強電工学ではなく，理学に根ざした弱電工学にあることを強く認識。
- 帰国後，各国で緊急課題とされていた真空管の研究に着目し，真空管を用いた超短波の発生に関する研究を開始。
- 超短波による固有波長の測定，超短波のビーム伝送などの世界に先駆けた一連の無線通信に関する研究に着手。
- このような環境の中から，八木・宇田アンテナや陽極分割型マグネトロンの発明など多くの研究成果がもたらされた。

弱電工学に対する批判と反論

- 東北帝国大学における電気通信の研究に対して世間の風当たり
- 当時の日本における電気工学の主流は「強電工学」
- 学会等から弱電に対する批判（査読者がいない）
- 八木教授による電気雑誌OHMを通しての反論
 - ✓ 「弱電工学の弁」（1924年）
 - ✓ 「再び弱電工学について」（1925年）

再び弱電工学について

- ある大学で電気工学科（動力電気科）に加えて通信電気科を新設したが、希望者が0だったので止むを得ず全員を動力電気科に入学させた。
- 「動力工学は有望で通信工学は有望ではない」との考えは間違いである。
- 電力会社には大資本の会社もあるが、通信事業だって小事業ではない。
- このような傾向は日本のみの現象であり、欧米には優秀な通信電気家がいる。
- 電信電話学会*なる学会があると伝え聞いているが、限られた範囲の会員が所属しており、学会として立派な成績を挙げているとは思えない。（*1917年創設）

財団法人斎藤報恩会の支援

- 仙台の資産家斎藤善右門氏の出資による財団法人斎藤報恩会は電気工学科の八木， 抜山， 千葉の3教授の「電気を利用する通信法の研究」に対して1923年に1万円（当時， 現在の価値は1億円弱）の研究費を支援.
- 翌1924年から5年間にわたって毎年4万円を援助.
- 同会の援助は， 研究に活気をもたらし， 8つの研究グループによる電気通信の研究が推進された.

齋藤報恩会

- 東北三大地主(宮城県桃生郡前谷地村(現在は石巻市)の齋藤家, 秋田県大仙市の池田家, 山形県酒田市の本間家)の一つである齋藤家が設立した財団法人.
- 資金は300万円(現在の価値で2百数十億円)で当時の年利率7%で年間20万円強の資金があった.
- 東北帝国大学工学部電気工学科だけでなく, 金属材料の研究などにも多額の支援を行った. また, 自然史博物館も開設し学都仙台の発展に尽力した.

最盛期の所有農地

- 齋藤家 田畑1,500ha = 東京ドーム319個分
- 池田家 耕地1,054ha = 東京ドーム225個分
- 本間家 3,000ha = 東京ドーム638個分

発表の内容

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
- 八木・宇田アンテナ
 - 八木・宇田アンテナの発明
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
- VHF/UHF 帯送受信機の開発
- ニューマン文書

八木・宇田アンテナの発明

- 非励振素子を用いて指向性の鋭いアンテナを実現する方法に関する最初の論文は宇田講師によって1925年(大正14年)に発表された [2]
- 1925年12月に八木教授は「電波指向方式」というタイトルで特許申請している.
- 八木・宇田アンテナの詳細な構造は1926年(大正15年)に八木教授と宇田講師の連名の論文で発表された[3]. これが英文による最初の論文である.

[2] 宇田新太郎, “超短波電波の発生について,” 電気学会誌, 450号, p. 1128, Dec. 1925.

[3] H. Yagi and S. Uda, “Projector of the Sharpest beam of electric waves,” Proc. Imperial Academy Japan, Vol. 2, No. 2, pp. 49-52, 1926.



八木秀次教授
(1886-1976)



宇田新太郎教授
(1896-1976)

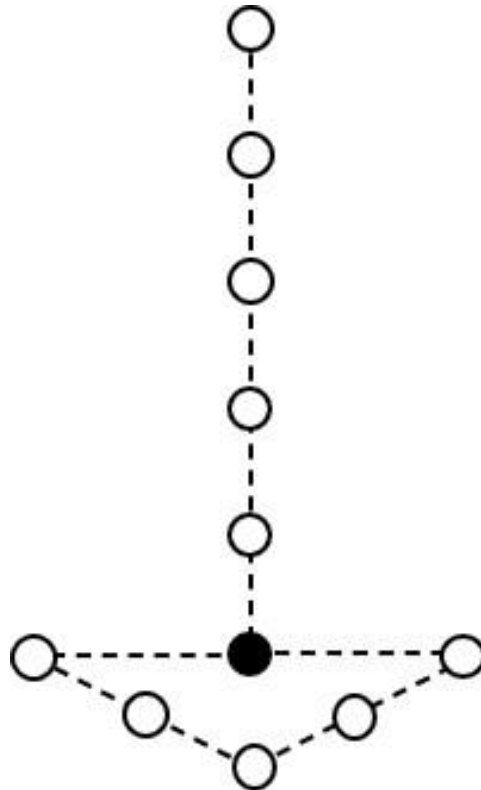
[2] 宇田新太郎, “短波長ビームに就て,” 電気学会雑誌, 450号, p. 1128, 1925年12月

- わずか6行の文章だけの簡単な説明
- 反射器の配列法と簡単に指向性電波を実現する方法について説明している.

八木・宇田アンテナの特許出願(1925年12月)

八木秀次, 電波指向方式, 1925(大正14)年12月28日出願

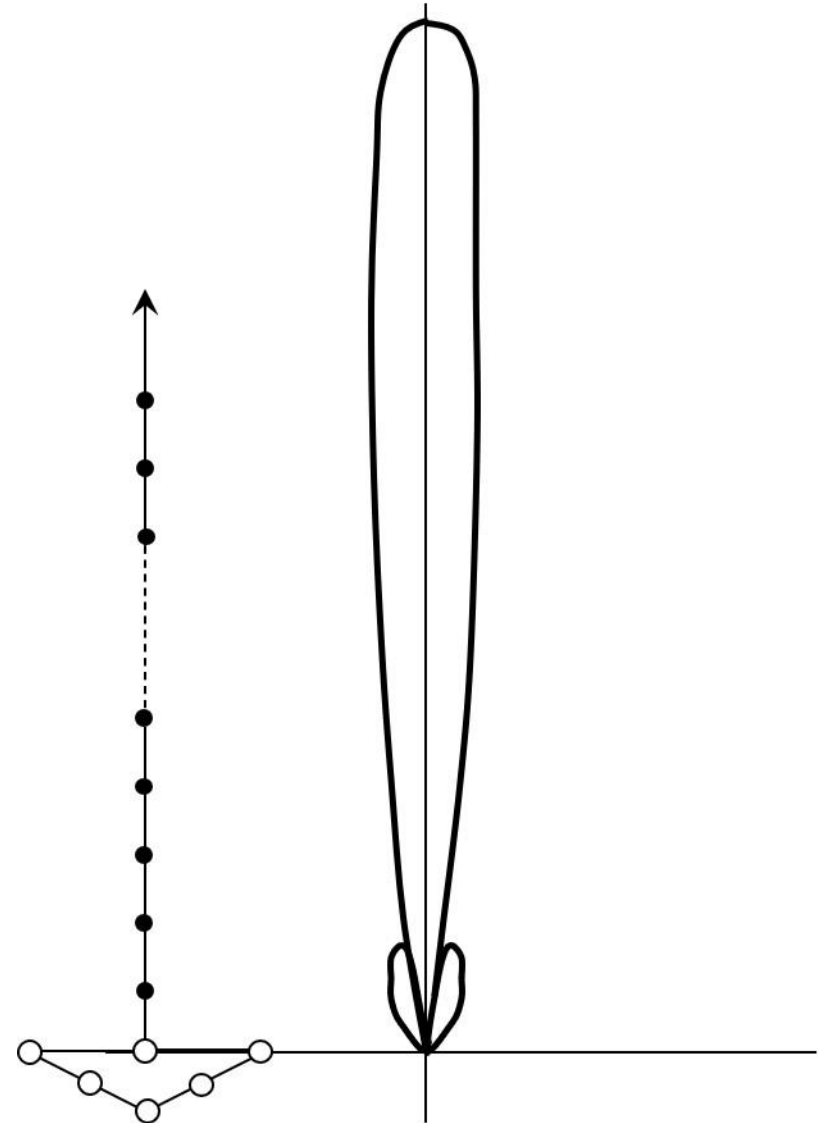
具体的なアンテナ構造や指向性の測定結果が示されている



八木・宇田アンテナの最初の英文論文(1926年)

{3] Hidetsugu Yagi and Shintaro Uda,
“Projector of the Sharpest Beam of
Electric Waves,”
Proc. Imperial Academy Japan, Vol. 2,
No. 2, pp. 49-52, 1926.
1926年1月受付

文章だけでなく具体的なアン
テナ構造や指向性の測定結
果が示されている



八木・宇田アンテナに関する論文

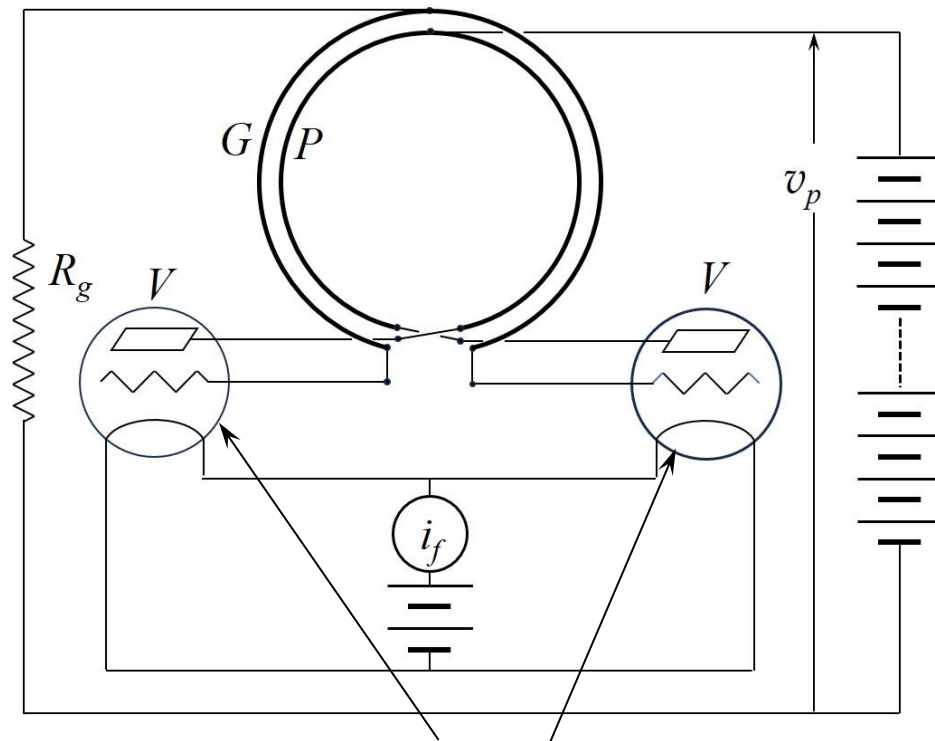
宇田は多くの非励振素子をもつ八木・宇田アンテナについて精力的に実験を行い、1926年～1929年の期間に電気学会雑誌に“短波長ビームに就て”というタイトルで11編の論文を発表した。

4. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(I),” 電気学会雑誌, No. 452, pp. 273-282, 1926年3月.
5. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(II),” 電気学会雑誌, No. 453, pp. 335-351, 1926年4月.
6. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(III),” 電気学会雑誌, No. 456, pp. 712-724, 1926年7月.
7. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(IV),” 電気学会雑誌, No. 462, pp. 26-51, 1927年1月.
8. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(V),” 電気学会雑誌, No. 462, pp. 52-62, 1927年1月.
9. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(VI),” 電気学会雑誌, No. 465, pp. 396-403, 1927年4月.
10. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(VII) 一新しき電波投射器,” 電気学会雑誌, No. 467, pp. 623-634, 1927年6月.
11. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(VIII),” 電気学会雑誌, No. 471, pp. 1092-1100, 1927年10月.
12. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(IX) ー反射器並びにディレクターの空中線に及ぼす影響ー,” 電気学会雑誌, No. 467, pp. 1201-1219, 1927年11月.
13. 宇田新太郎, “短波長ビームについて(X) ー水平偏波の高角度発射ー,” 電気学会雑誌, No. 477, pp. 395-405, 1928年4月.
14. 宇田新太郎, “短波長ビームについて(XI) ー数米短波の伝播試験ー,” 電気学会誌, No. 492, pp. 755-770, 1929年7月.

電波の発生

周波数や振幅が安定している信号発生器（SG）が無い時代
⇒真空管を使って波源を自作.

直径12cmの線状プレートと線状グリッド
で微小ループアンテナとして動作.

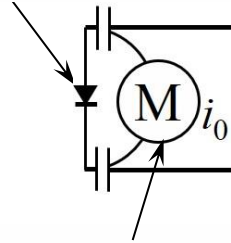


三極管（東京電気会社製100V検波用B型三極管）

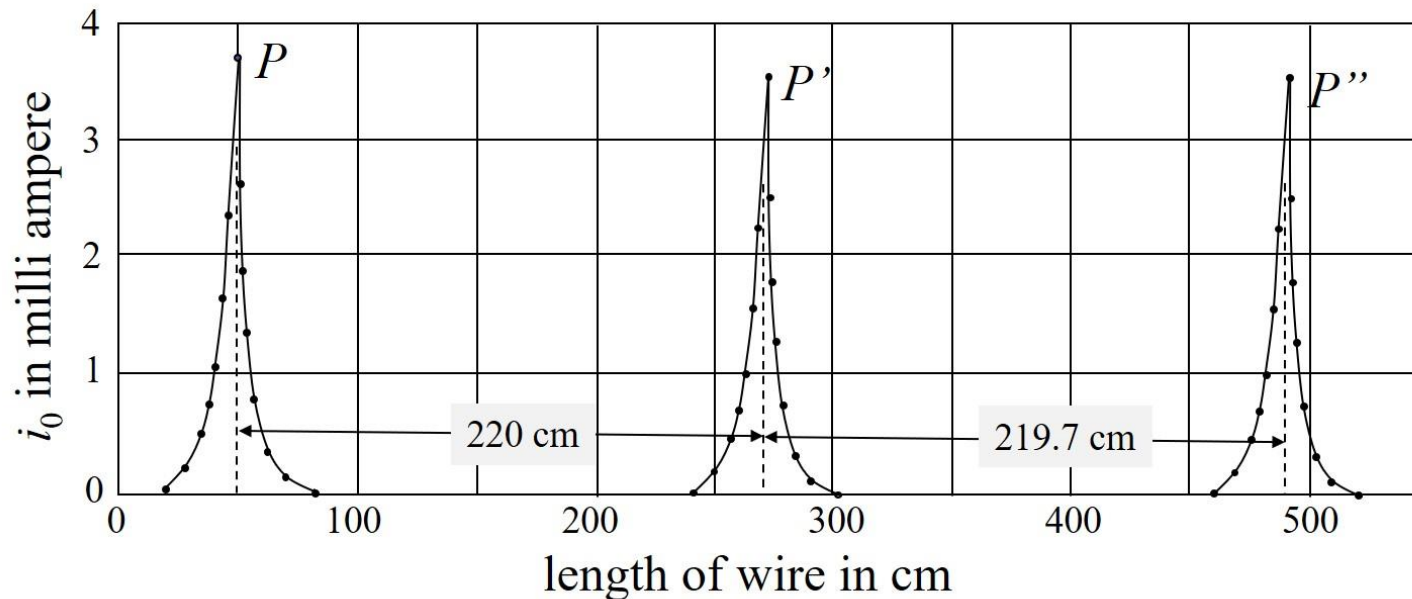
周波数(波長)の測定

周波数カウンタが無い時代⇒先端短絡の並行2本線路(レッヘル線)の長さを変化させて, 端子の電流を測定⇒共振長から波長を測定

鉱石検波器

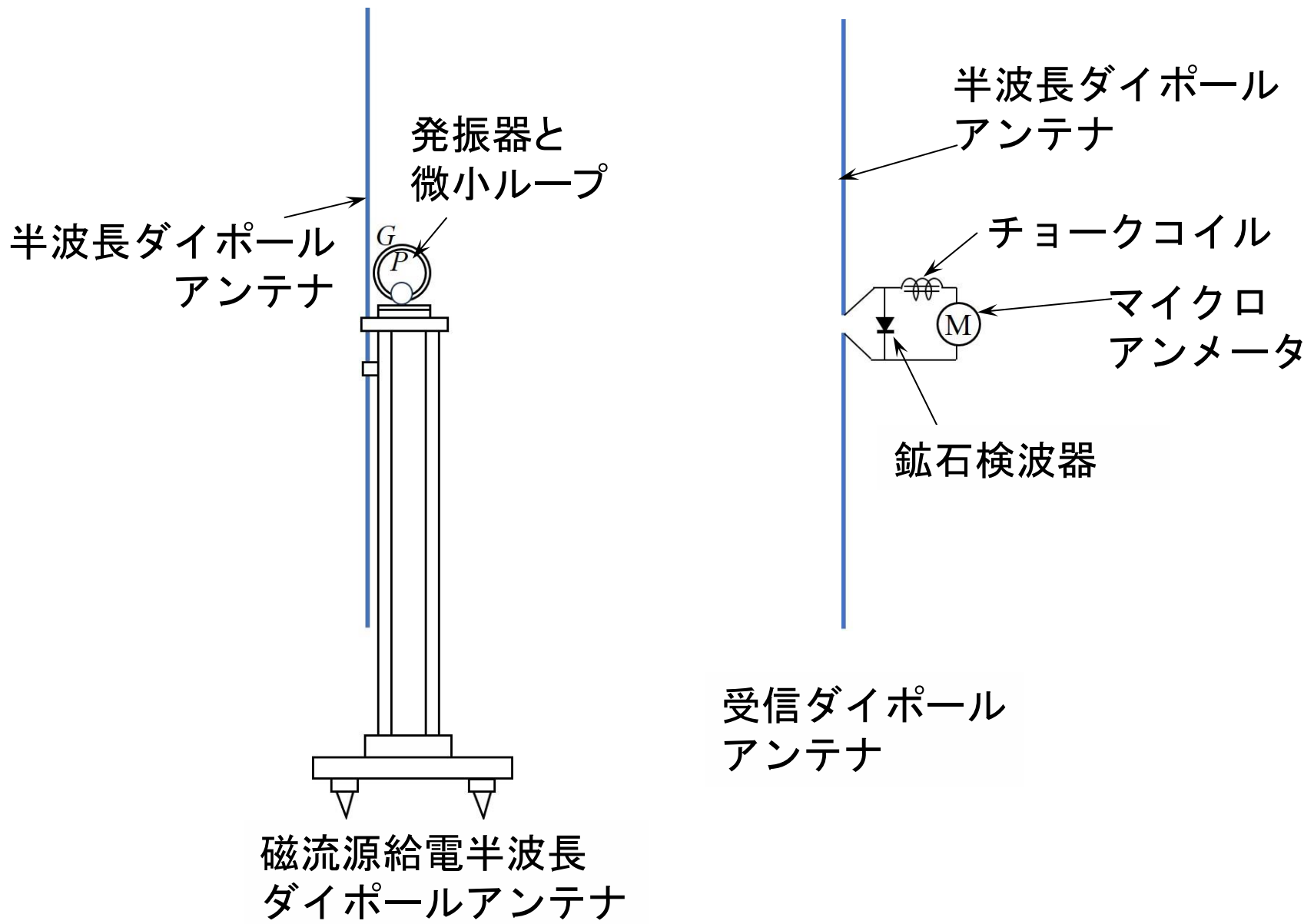


マイクロアンメータ



波長 = 4.4m
→ 68.2MHz

送受信用ダイポールアンテナ

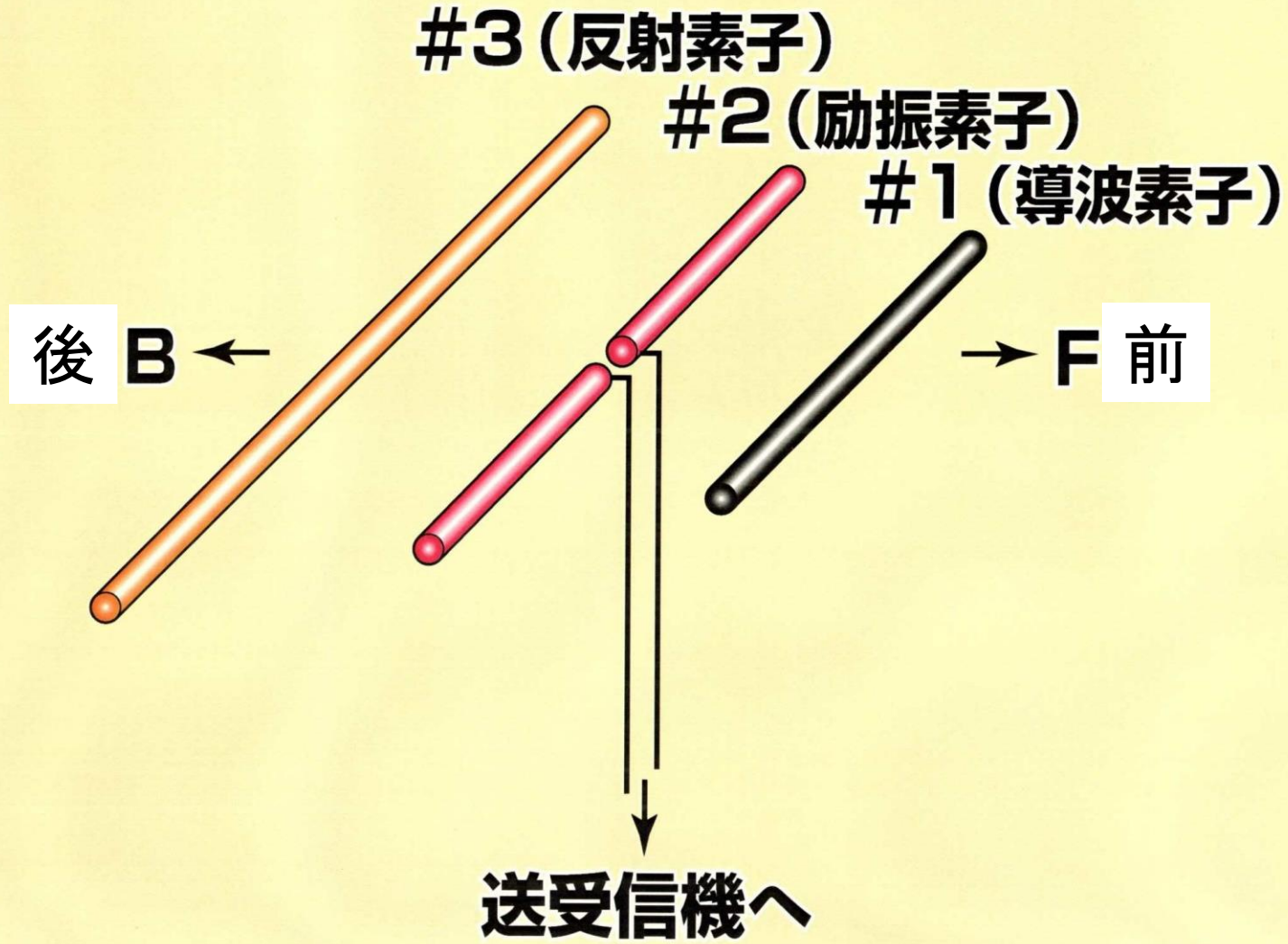


4. 宇田新太郎, “短波長ビームに就て(I),” 電気学会雑誌, No. 452, pp. 273-282, 1926年3月.

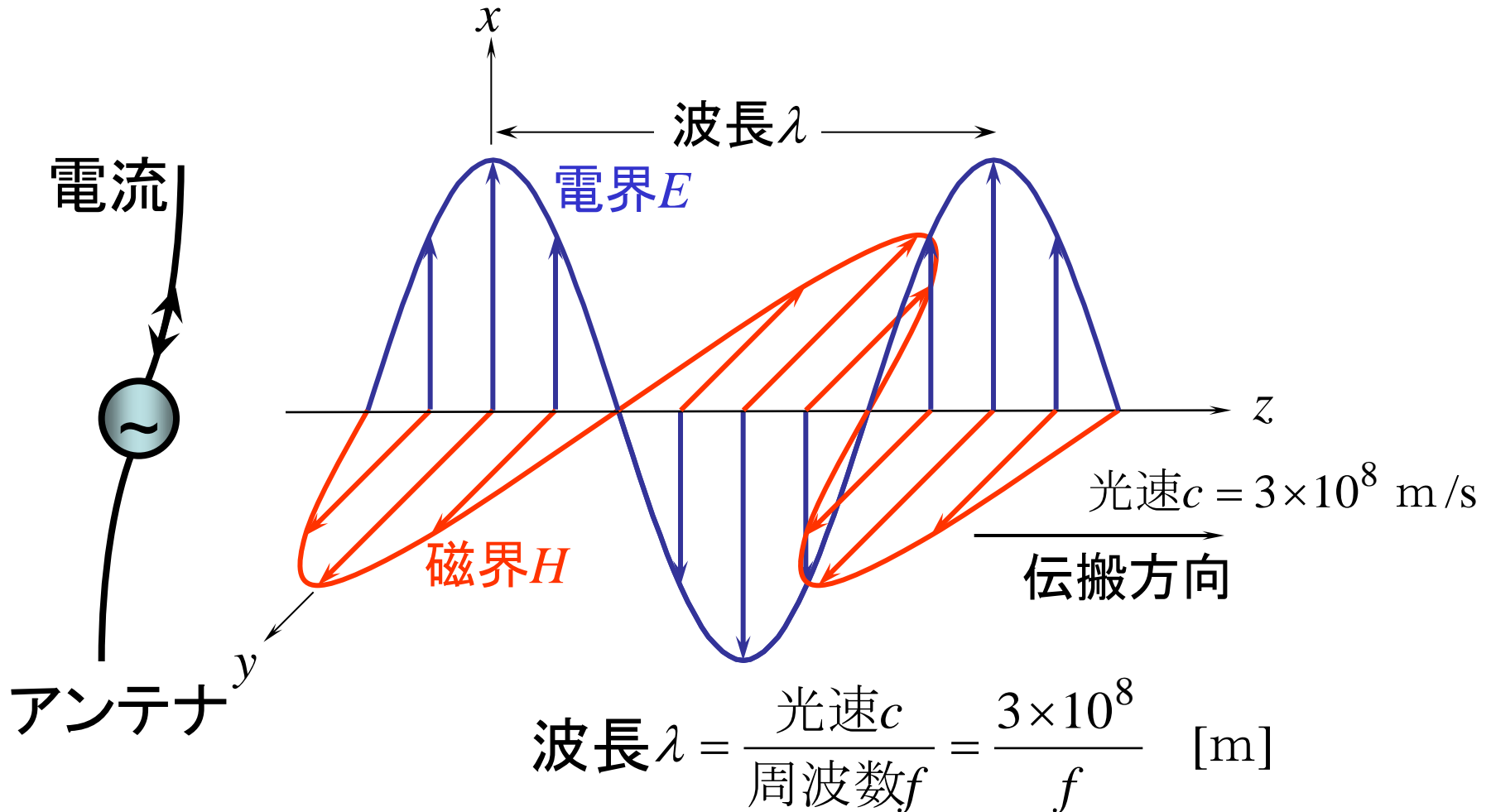
発表の内容

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
- 八木・宇田アンテナ
 - 八木・宇田アンテナの発明
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
- VHF/UHF 帯送受信機の開発
- ニューマン文書

3素子八木・宇田アンテナ

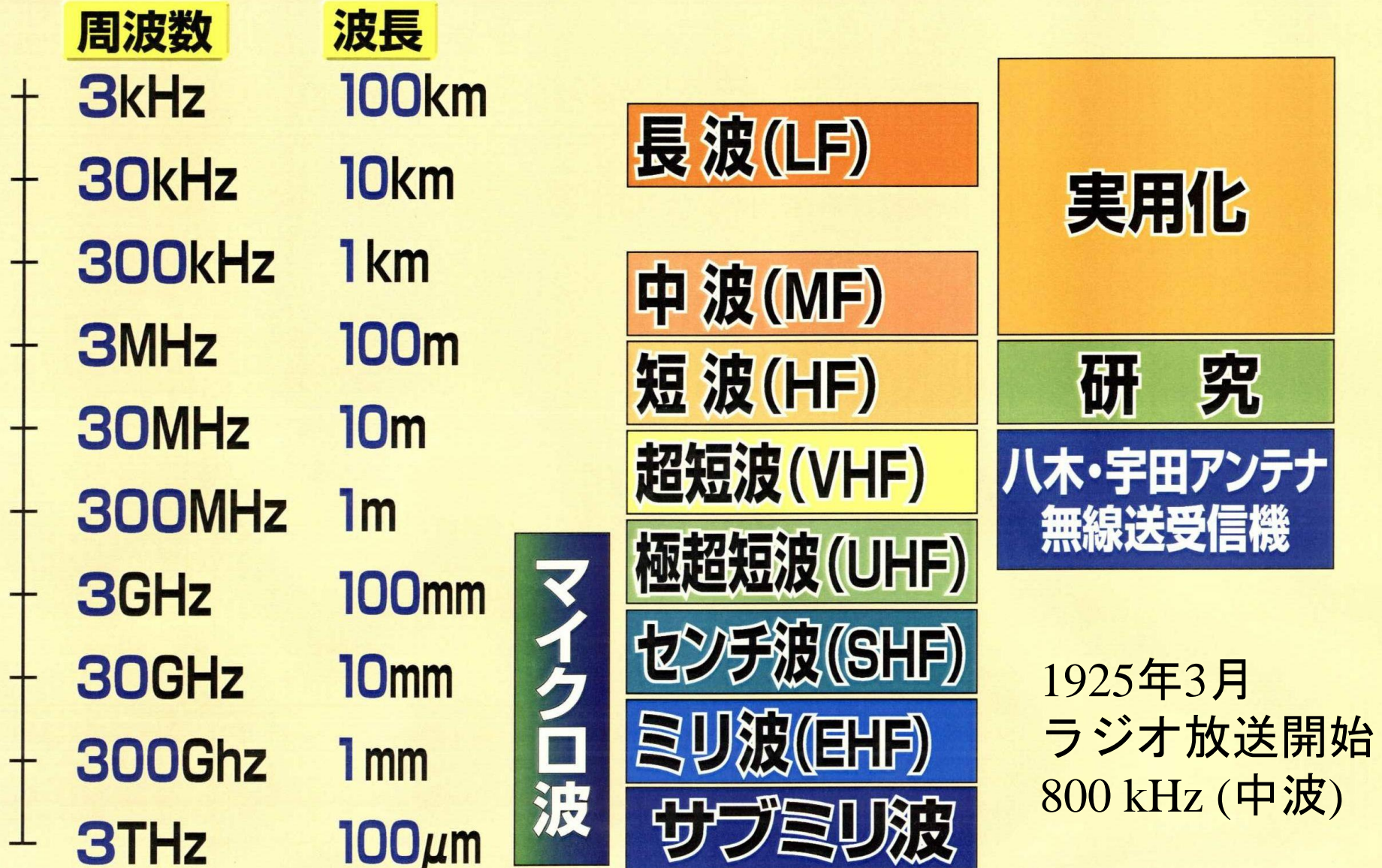


電磁波の放射と伝搬



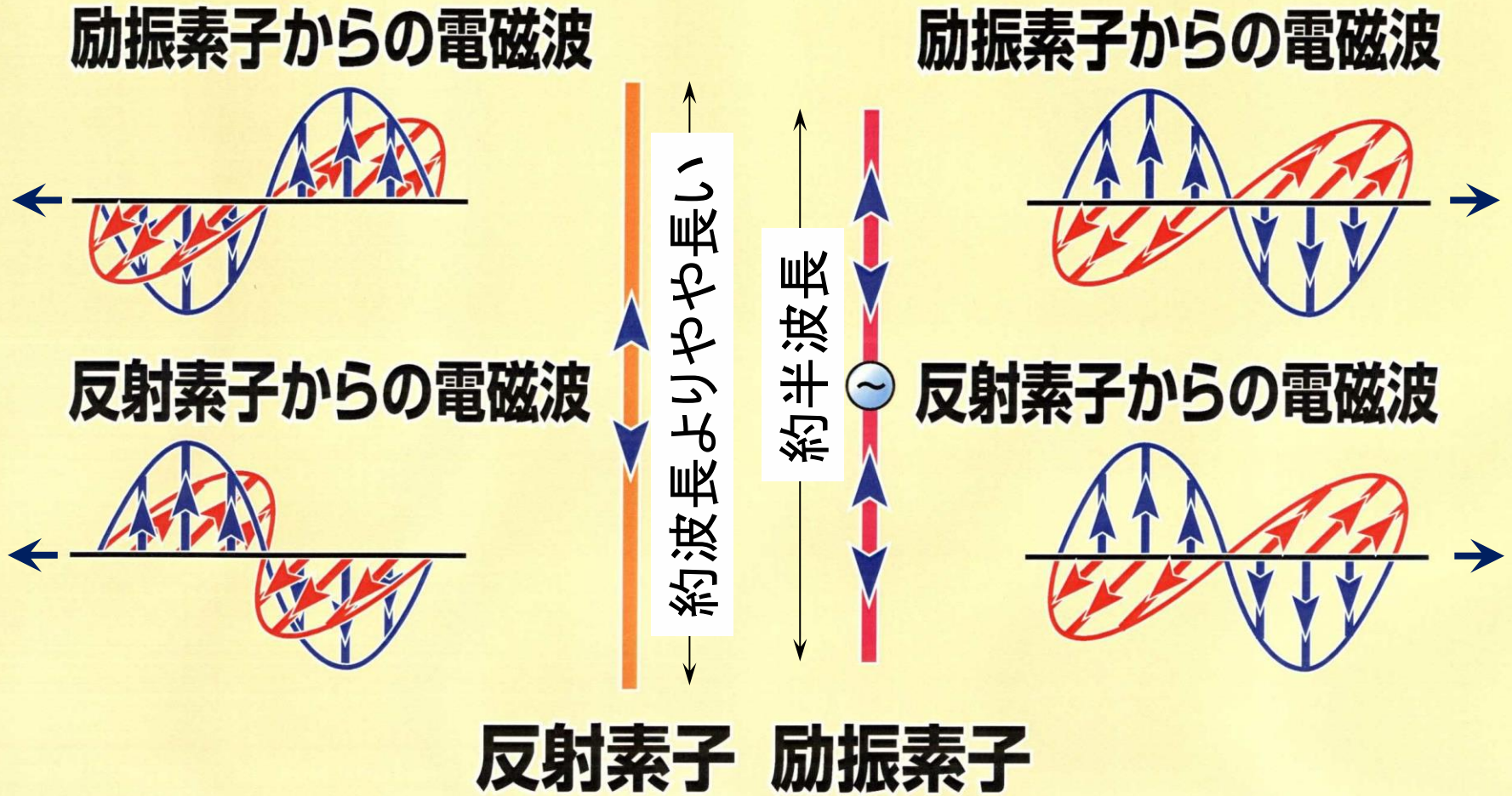
$$\lambda = \frac{300}{f \text{ [MHz]}} \text{ [m]}$$

1920年代当時の電波の利用



3素子八木・宇田アンテナ

反射素子の効果 → 電界 → 磁界

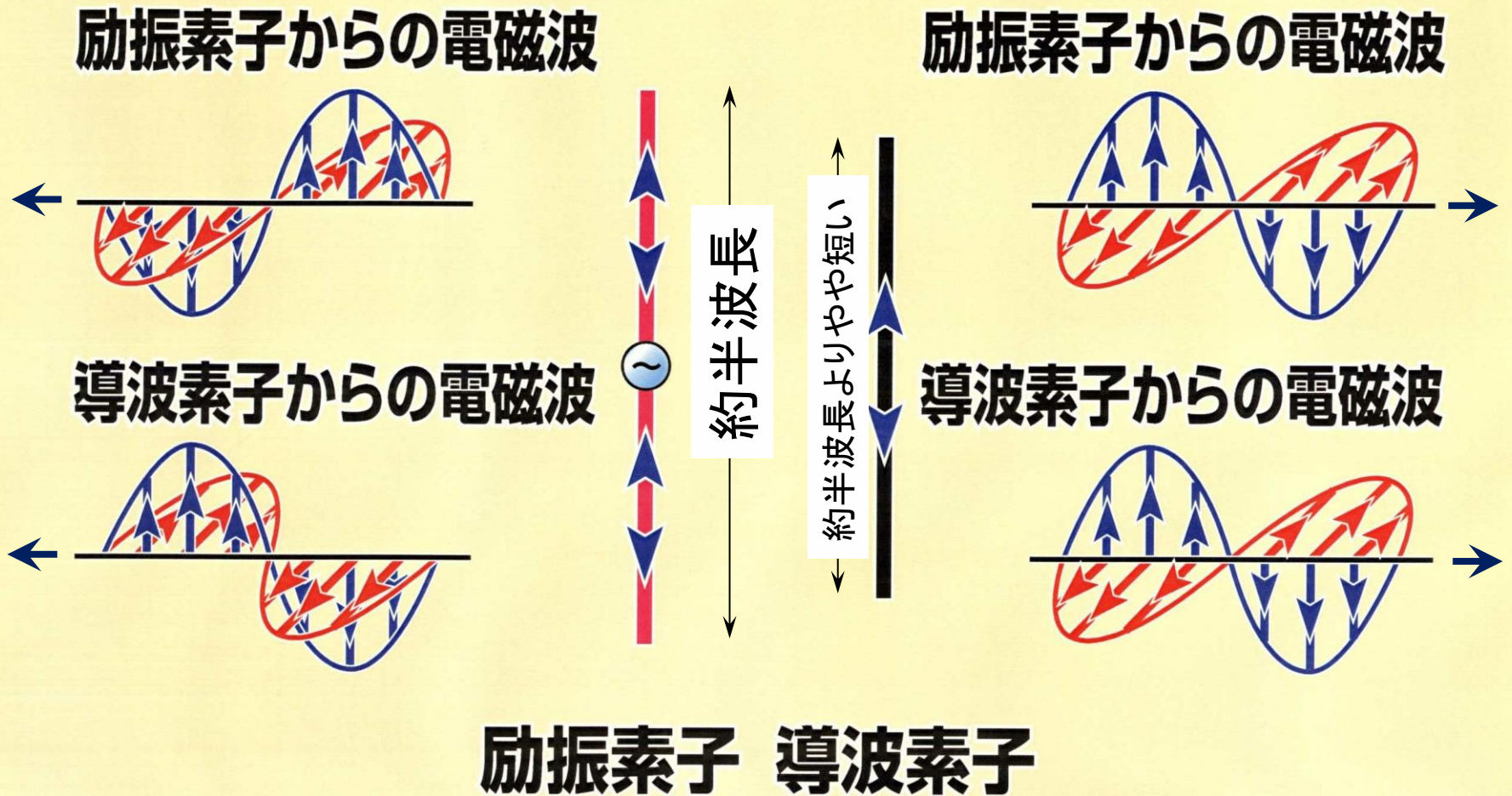


反射素子の効果は既に知られていた

3素子八木・宇田アンテナ

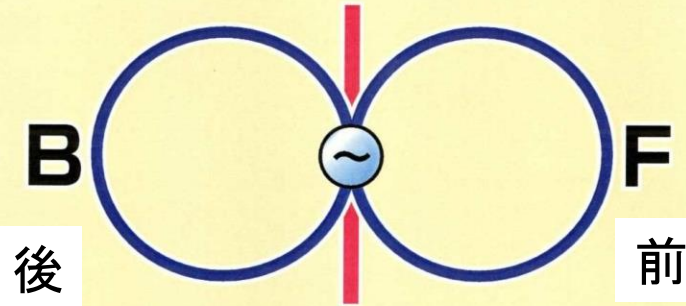
導波素子の効果

→ 電界 → 磁界

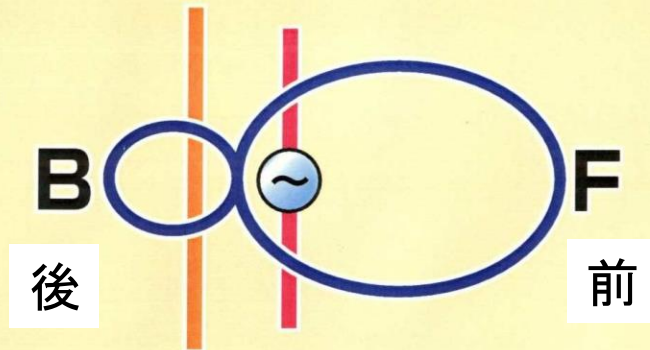


導波素子が電波を導く効果をもっていることは知られていなかった

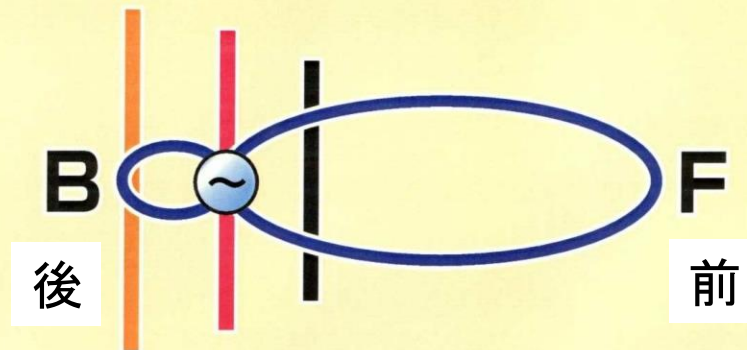
3素子八木・宇田アンテナの指向性



(a) 励振素子のみ



(b) 励振素子
+ 反射素子

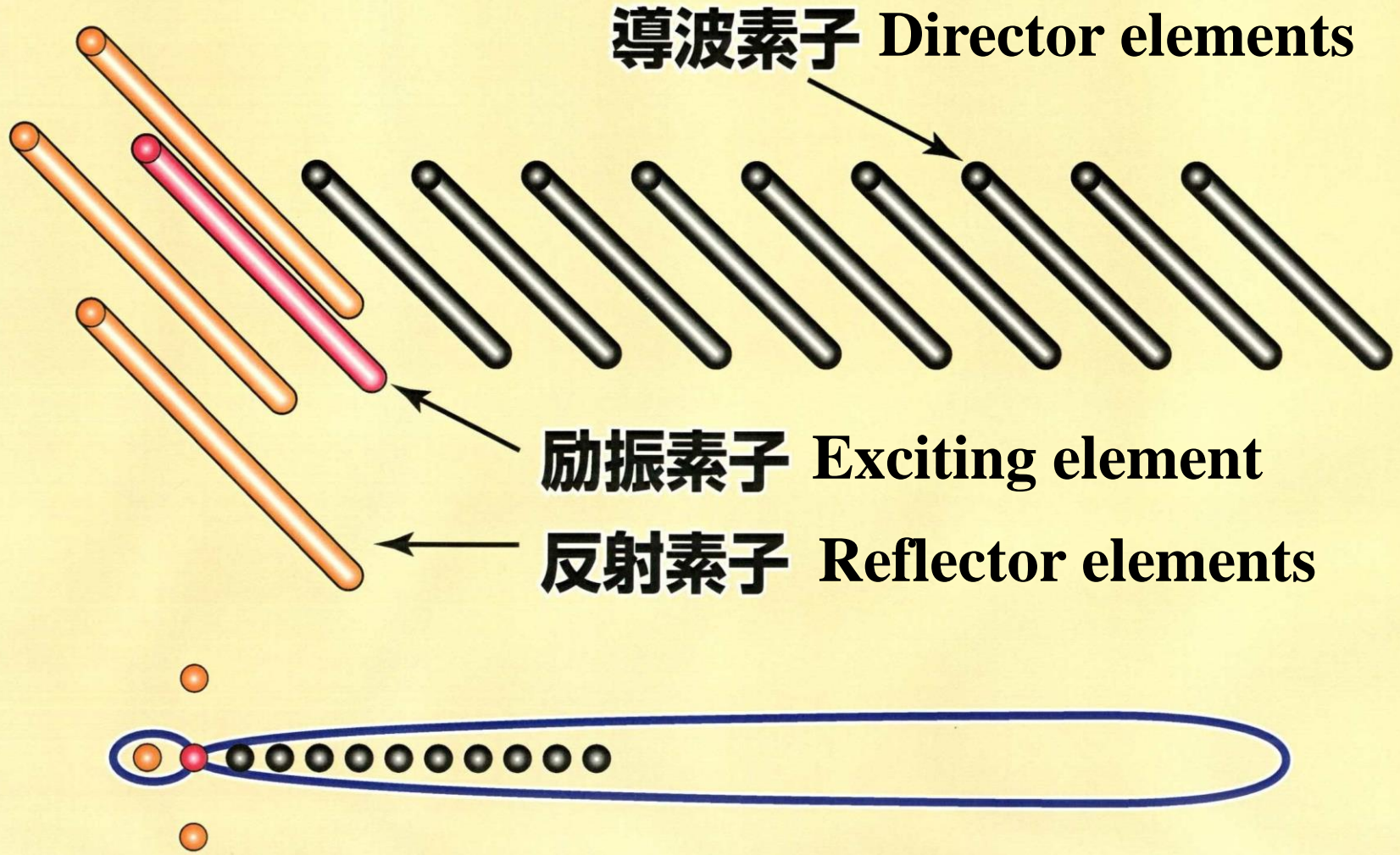


(c) 励振素子
+ 反射素子
+ 導波素子

発表の内容

- **東北大学工学部電気工学科の歴史**
- **八木・宇田アンテナ**
 - 八木・宇田アンテナの発明
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
- **VHF/UHF 帯送受信機の開発**
- **ニューマン文書**

多素子八木・宇田アンテナの構造



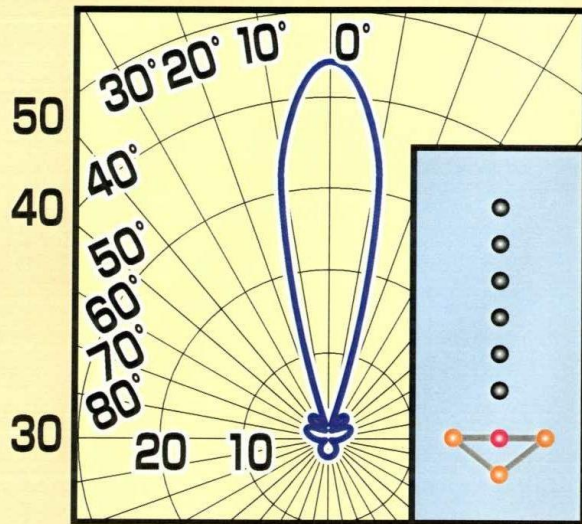
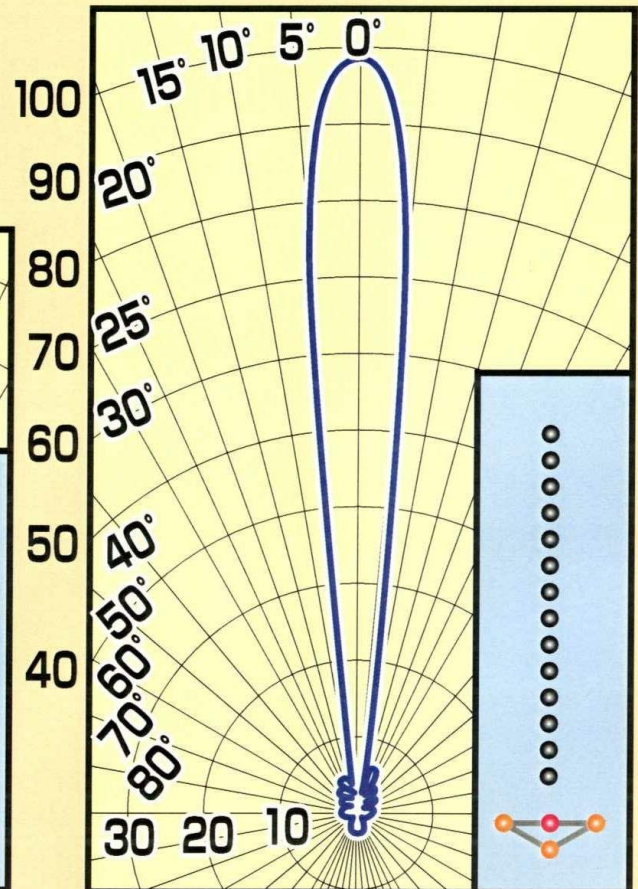
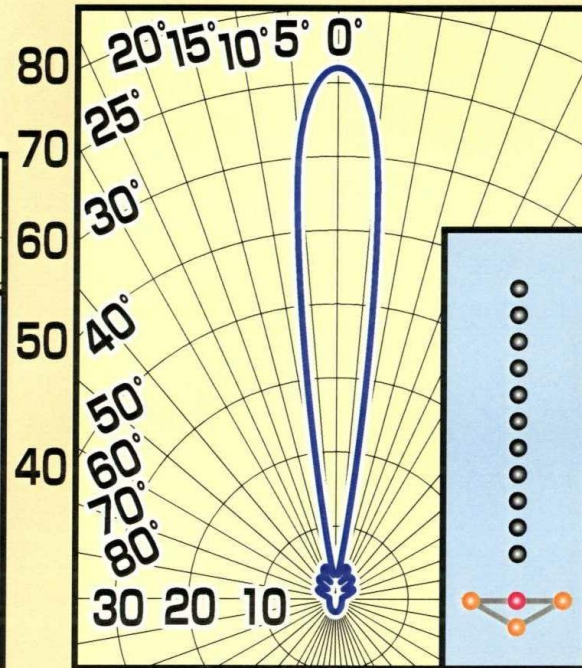
導波素子の数を増やすことにより指向性を鋭くすることができる

多素子八木・宇田アンテナの指向性の例

68MHz

 $N_d=14$

N_d : 導波素子の数

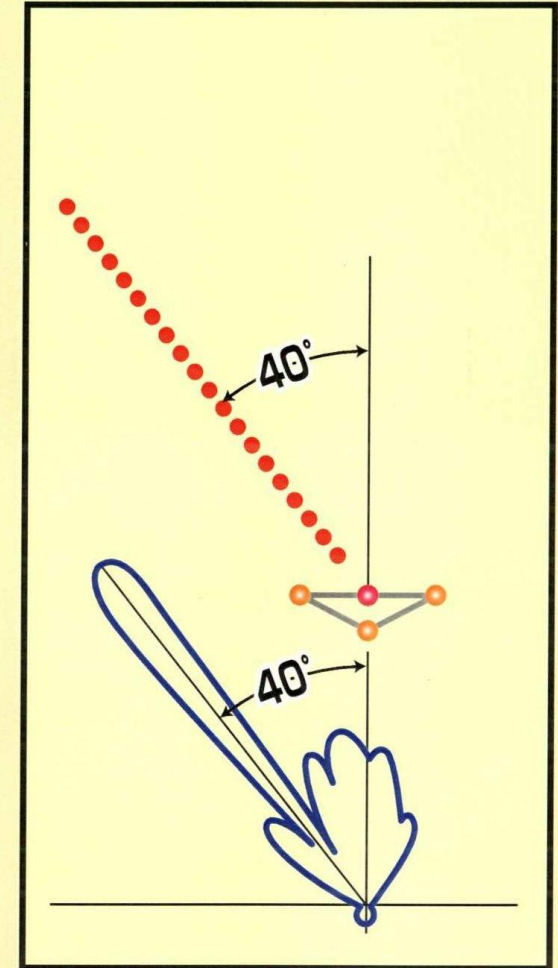
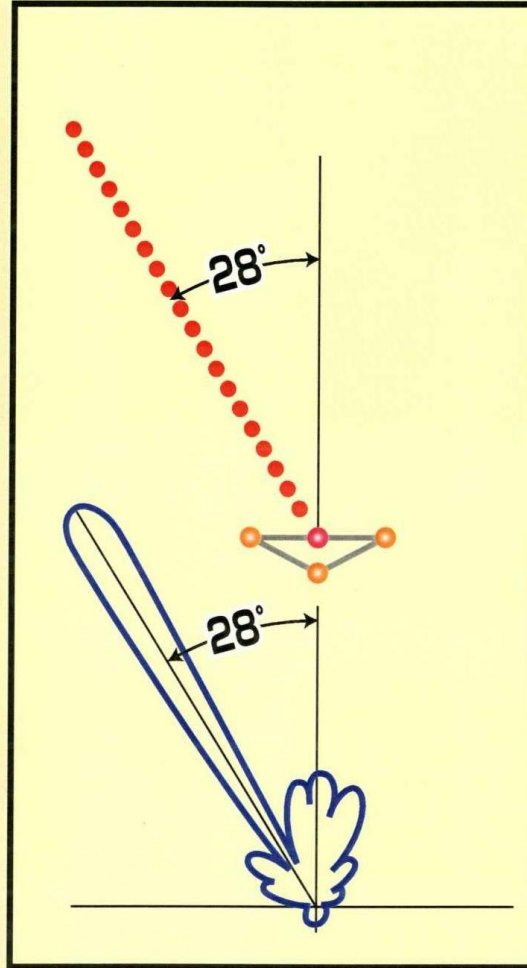
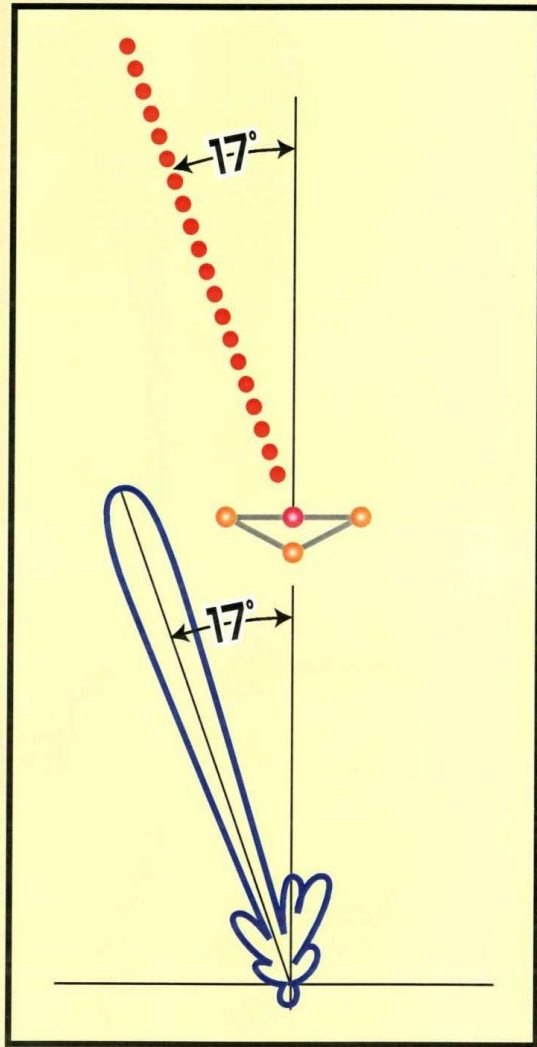
 $N_d=6$

 $N_d=11$


[10] 宇田新太郎, “短波長ビームについて(VII) —新しき電波投射器—,” 電気学会雑誌, No. 467, pp. 623-634, 1927年6月.

1927年 電気学会誌

多素子八木・宇田アンテナの指向性の例

68MHz



[10] 宇田新太郎, “短波長ビームについて(VII) —新しき電波投射器—,” 電気学会雑誌, No. 467, pp. 623-634, 1927年6月.

1927年 電気学会誌

八木・宇田アンテナの特徴

- 給電素子以外は非励振素子を単に並べるだけで鋭い指向性が得られる.
- 導波素子を増やすことにより指向性を鋭くすることが可能.
- 原理的には狭帯域であるので, 例えばアマチュア無線のように周波数帯域が狭い利用には適している.
- テレビジョン放送(470MHz~710MHz)のように広い周波数を用いるシステムには不向きであるが, メーカーの努力により, テレビジョン放送受信アンテナとして広く用いられている.

発表の内容

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
- 八木・宇田アンテナ
 - 八木・宇田アンテナの発明
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
- VHF/UHF 帯送受信機の開発
- ニューマン文書

八木教授のIRE 論文

- 1927年, 八木は米国を訪問し, **八木・宇田アンテナ**に関する実験, 並びに東北帝国大学の岡部金治郎が発明した UHF**分割陽極マグネトロン**について各地で講演した.
- 八木教授は1928年のProceedings of IRE* にこれらの技術の論文を発表した.

[15]H. Yagi, “Beam Transmission of Ultra Short Waves,” Proc. IRE, Vol. 16, No. 6, pp. 715-741, June 1928.

同じ論文が1985年のProceedings of IEEE に再掲載されている.

Proc. IEEE, vol. 72, no. 5, pp. 634-645, May 1985.

- 八木・宇田アンテナは単純な構造で高利得であることから, VHF・UHF帯の有用なアンテナであると認識され, 欧米でレーダ用アンテナとして利用された.
- 一方, 日本ではレーダ用アンテナとしてほとんど認識されなかった.

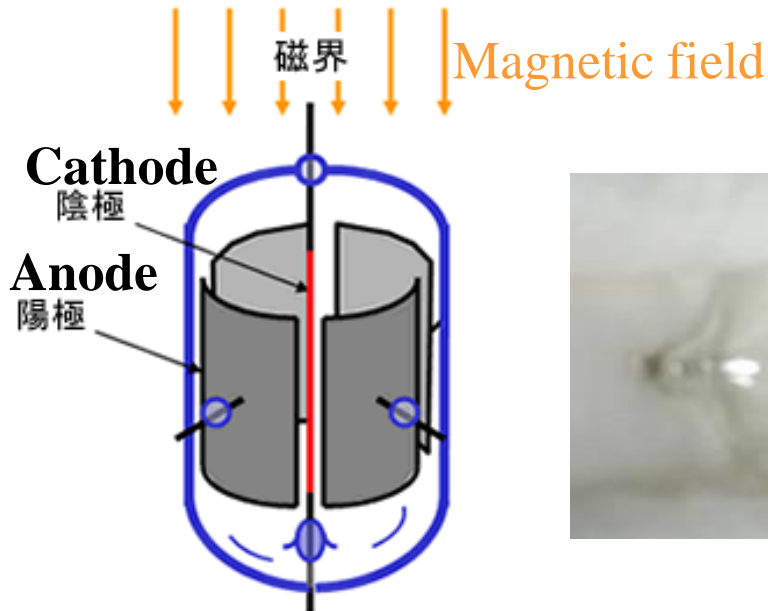
* IRE: Institute of Radio Engineers (無線学会).

分割陽極マグネトロン

- 1921年 英国のハルがマグネトロンを發明
(発振出力が微弱で実用化は困難)
- 1927年 東北大学の岡部金治郎が分割陽極型
マグネトロンを發明(高出力の安定し
たVHF, UHF帯電波の発振に成功)



岡部金治郎
(1896-1984)



発表の内容

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
- 八木・宇田アンテナ
 - 八木・宇田アンテナの発明
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
- VHF/UHF 帯送受信機の開発
- ニューマン文書

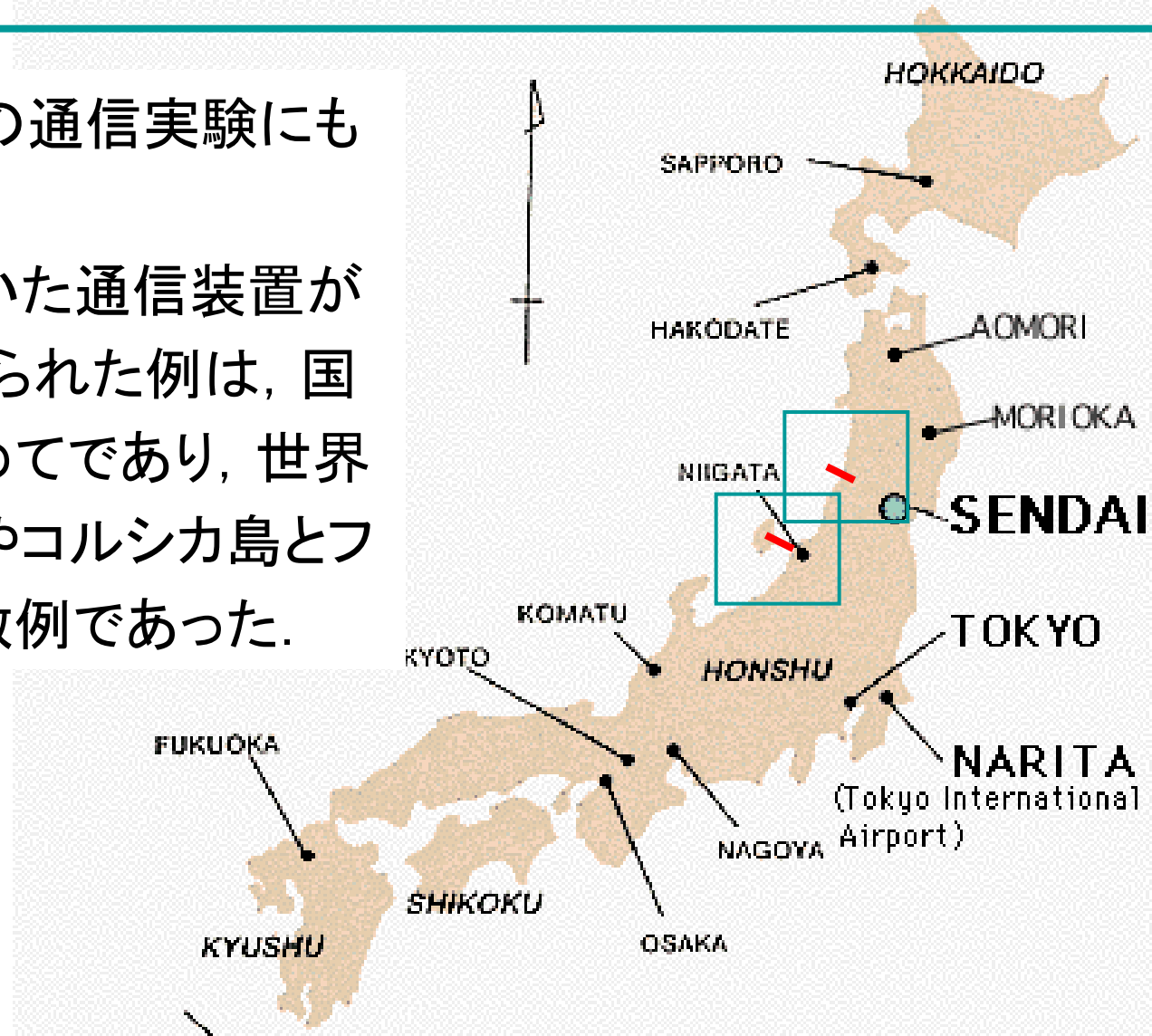
VHF帯 送受信機の開発と通信実験

- 八木・宇田アンテナの開発の後，宇田は八木・宇田アンテナを用いたVHF帯 送受信機の開発を始めた。
- 真空管を用いた68MHz（波長＝4.4m）の送信機を用いて，東北大学から北へ4km離れた台原へ送信実験を行い[14]，さらに岩切（大学から10km），塩釜（同15km），松島（同20km），野蒜（同30km），金華山（同60km）の長距離伝搬試験を行った。

[14] 宇田新太郎, “短波長ビームについて (XI) — 数米短波の伝播試験 —,” 電気学会雑誌, No. 492, pp. 755-770, 1929年7月.

VHF帯 送受信機の開発と離島との通信実験

- 宇田はまた離島との通信実験にも挑戦した。
- 当時，VHF帯を用いた通信装置が長距離通信に用いられた例は，国内ではもちろん初めてであり，世界でもハワイ諸島間やコルシカ島とフランス本土間など数例であった。



[16] 宇田新太郎他，“超短波による離島と本土間の通話試験について,”電気学会雑誌, No. 532, pp. 868-872, 1932年11月.

The Pacific Ocean

65 MHz 及び 53MHz の通信実験

- 1931年 新潟－佐渡間の通信実験に成功(65MHzと53MHz, 距離は約50km)
- 1933年 新潟－佐渡間の警察用無線電話局として実用化



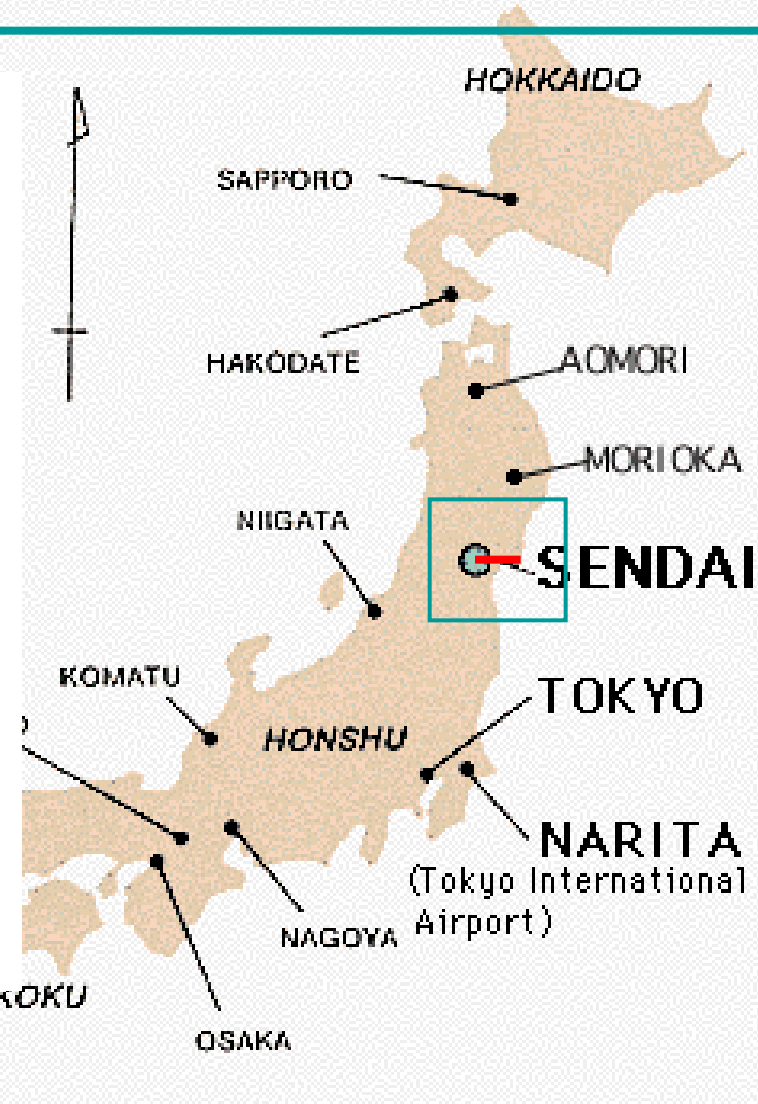
38MHz の通信実験

- 1932年 酒田－飛島（現在は酒田市）間（38MHz, 距離は約40km）
- 1933年 酒田－飛島間の一般公衆用無線電話局として実用化



UHF帯 送受信機の開発

- 600MHz帯 (UHF) の無線電信電話用の送信機と高感度受信機を開発
- 10数メートル程度の通信から開始
- 仙台－岩切間の10kmの通信実験
- 1929年に仙台－大高森間の約30kmの長距離通信実験に成功 (UHF帯を用いた通信としては、当時は**世界最長**)
- 1930年ベルギーのブリュッセルで開かれた万国博覧会に出品



18. S. Uda, "Radiotelegraphy and radiotelephony on half-meter waves," Proc. IRE, vol. 18, no. 6, pp. 1047-1063, June 1930.

The Pacific Ocean

600MHz における通信実験

- 1929年に仙台－大高森間の約30kmの長距離通信実験に成功(UHF帯を用いた通信としては、当時は**世界最長**)



八木・宇田アンテナを用いたUHF送受信機

- 1930年ベルギーのブリュッセルで開かれた万国博覧会に出品された送受信機のレプリカ(実際に出品された装置はNHK放送博物館 蔵)



600MHz送信機



600MHz受信機兼
方向探知機

発表の内容

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
- 八木・宇田アンテナ
 - 八木・宇田アンテナの発明
 - 3素子八木・宇田アンテナ(原理の説明)
 - 多素子八木・宇田アンテナ
 - 八木教授のIRE 論文
 - VHF/UHF 帯送受信機の開発
- ニューマン文書

ニューマン文書

- 第二次世界大戦中の1942年, 日本軍はマレーシアからシンガポール(イギリス領)に侵攻し, 占領.
- 日本陸軍が現地でイギリス軍のレーダー手Newmanのノートを接收.
- 欧米に比べて遅れていたレーダー技術を知るために翻訳・分析
- 東北帝国大学で発明された八木・宇田アンテナが利用されていたことが判明し, 関係者を驚かせた.

ニューマン文書

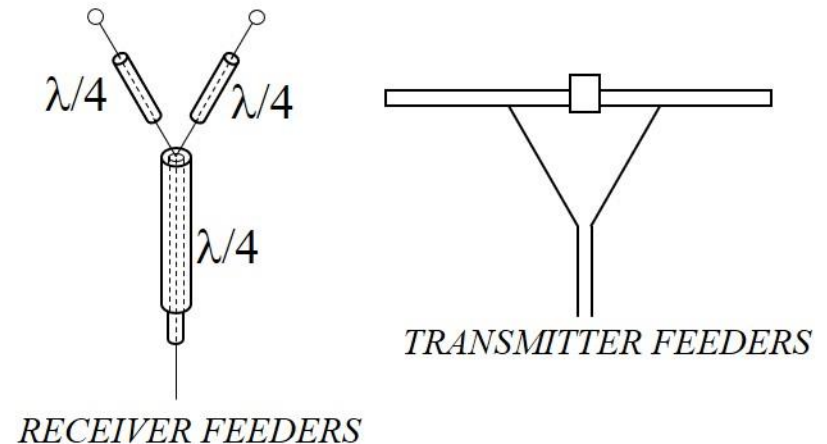
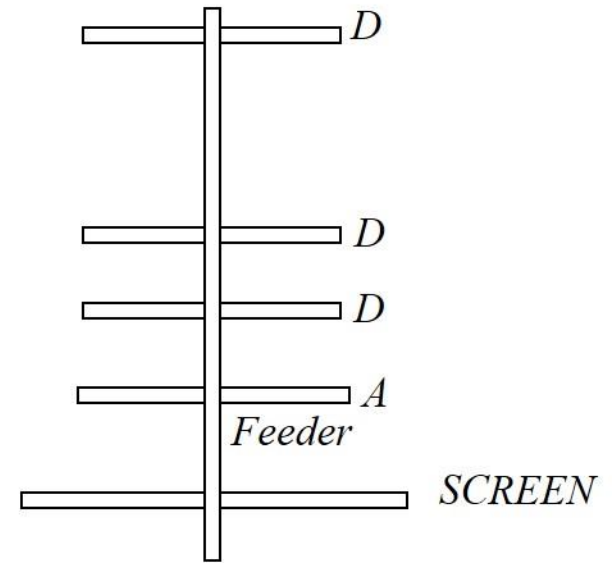
昭和17年6月22日

南方軍兵器技術指導班

ニューマン文書

昭和17年3月20日陸軍防空学校秋本中佐が昭南通過せる際 同中佐希望により昭南和蘭村敵高射砲陣地へ案内せる際 同中佐が発見せるものなり.....

昭南島：
シンガポール



YAGI AERIAL ARRAY

まとめ

- 東北大学工学部電気工学科の歴史
後発の大学として特長ある研究分野への挑戦
理学に根ざした弱電工学
多額の研究資金の援助
- 発振器の開発、波長の測定に始まり、八木・宇田アンテナに関する多くの興味ある実験が行われた
- アンテナだけでなく通信機も開発し、VHF帯長距離無線通信を実用化した。
- UHF帯でも当時世界最長の通信実験に成功しており、東北大学の理念の一つの「実学尊重」を実践した。