

清水建設株式会社技術研究所における環境電磁波計測

横井 佐代子 白石 理人 山根 俊博
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Observation of Environmental Electromagnetic waves at Institute of Technology, Shimizu Corporation

Sayoko Yokoi, Michihito Shiraishi and Toshihiro Yamane

清水建設株式会社技術研究所内の研究棟屋上において、2021年2月に24時間の環境電磁波計測(対象周波数は1MHz～30GHz)を行った。その結果、近隣の事業所由来と思われる陸上移動無線、携帯電話、地上デジタル放送波、無線LANの周波数帯域の電波が観測された。また、直流磁場は、地磁気レベルであった。太平洋側の大都市の冬季快晴時の到来波は、ほとんどが人工由来と考えられ、今後様々な場所で環境電磁波の評価を行う際の参考データとなる。また、商用5G(28GHz)の屋外送信が始まる前の貴重なデータをとることができた。

Environmental electromagnetic waves (target frequency is 1MHz - 30GHz) were measured for 24 hours in February 2021 on a roof of research building of Institute of Technology, Shimizu Corporation. We observed land mobile radio waves, mobile phone waves, digital broadcasting waves, and waves of wireless LAN that would be derived from nearby business facilities. The observed DC magnetic field was at a geomagnetic level. Most of the incoming waves measured during clear weather in winter would be artificial origin in large cities on the Pacific coast side, which will be used as reference data for future evaluation of environmental electromagnetic waves in various locations. In addition, some valuable data were also collected before outdoor transmission of the commercial 5G (28GHz) starts.

1. はじめに

人間が活動する空間には、自然現象を発生源とする電磁波や電気・電子機器・装置・システム、自動車など人工物を発生源とする電磁波があり、このような電磁気的環境を「電磁環境」と呼ぶ¹⁾。建築物の種類によっては、施工前の設計段階において建物周辺の電磁環境を把握する必要が生じる。把握するために計測を行うことを「環境電磁波計測」という。

建物建設予定地の環境電磁波計測においては、様々な制約から、短期間で正確に電磁環境を把握することが求められる。多くの場合、計測期間は1日(24時間)で、計測場所は現場から指定されることもあれば可能な範囲で選ぶこともある。この計測によって、建築物周辺の電磁波強度、磁場強度を把握し、建築物内の環境(例えば、工場の電子機器や放送局の通信機器など)に影響がないか評価する。そして、電磁的対策を施すかどうかを判断する。

今回は、「通常(発生頻度の高いこと)」の電磁波環境を把握することを目的として環境電磁波計測を行った。そのために、計測は自然現象由来の電波伝搬(落雷や電離層擾乱)が少ない太平洋側の冬季の快晴の日に行った。2020年4月から商用サービスインした第5世代移動通信システム(5G)の利用周波数である28GHz帯の電波状況も把握するため、計測周波数は1MHz～30GHzとした。

なお「通常」に注目する理由は、環境電磁波計測で得られた電波の強さがある基準を超える場合に電磁的対策の検討を勧めるためである。電磁的対策には相応の工期と費用が必要になるので、施工主は本当に対策が必要か否かを判断するために、その電波の発生頻度が高い(通常)か低い(異常)かを知らたがるからである。

2. 調査概要

期間：2021年2月16日～17日

場所：清水建設技術研究所 実験棟屋上

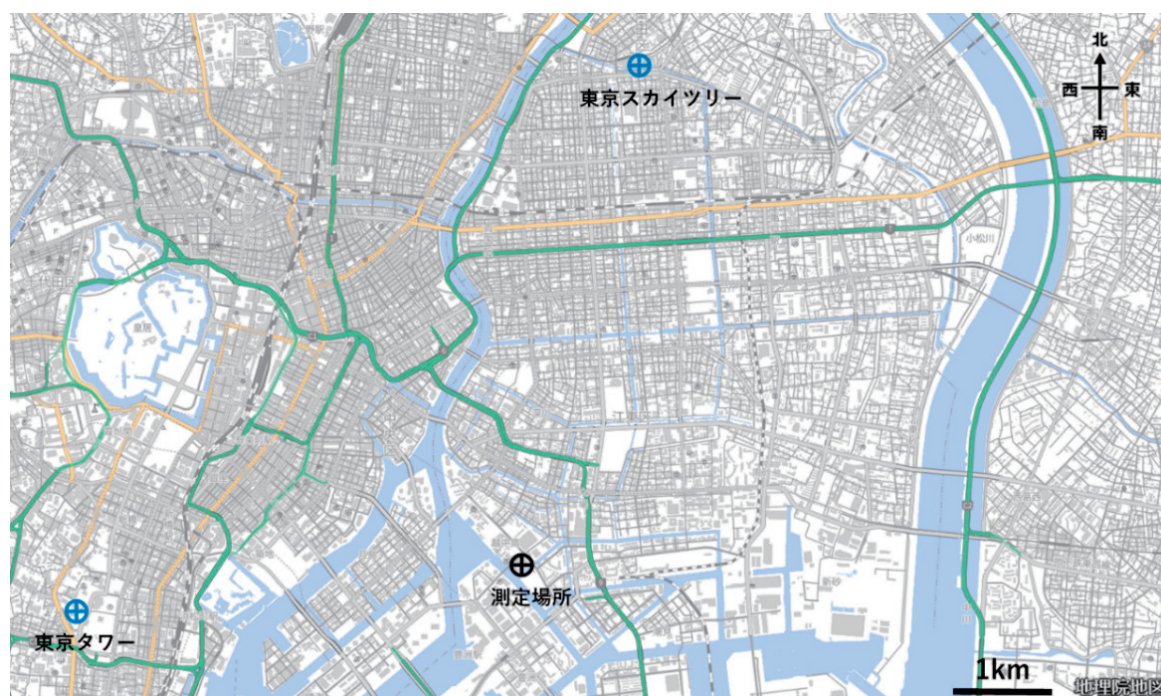


図-1 環境電磁波測定 測定場所²⁾

(図-1)

機器：表-1 使用測定機器一覧

図-2 測定機器接続図

方法：

(1) 電磁波・昼間計測

2月16日 10:30-19:00において周波数1MHz～30GHzの水平・垂直偏波をアンテナの指向性により4方向(東、西、南、北)、または2方向(東西、南北)に設置し、電場強度測定を行った。なお、各偏波・各方向共に15分間のMaxHold(最大値取得モード)をデータとして取得した。

(2) 電磁波・夜間計測

2月16日 19:30-2月17日 9:30の時間帯において、周波数200MHz～6GHzの垂直偏波をアンテナを固定した状態で測定した。なお、アンテナ方向は北向きとし、昼間計測と同様に15分毎のMaxHold(最大値取得モード)にてデータを取得した。

(3) 磁場・昼間計測

2月16日 10:00-10:30の時間帯で直流磁場を30秒程度、および交流磁場の測定を10分程度行った。その後、10:30-19:00まで変動磁場を計測した。

(4) 磁場・夜間計測

2月16日 19:00-2月17日 9:30の時間帯で変動磁場を測定した。その後、9:30-10:00の時間帯にて直流磁場の測定を30秒程度、および交流磁場の測定を10分程度行った。

なお、電磁波の電場強度の単位はV/mで表されるが、測定機器ではdBμV/mで表示されるため、本報ではdBμV/mで統一した。

$$\text{電場強度 [dB}\mu\text{V/m]} = 20\log [\text{V/m}] + 120 \quad \dots(1)$$

また、磁場は三軸磁界測定機によって測定点における磁束密度の三成分X、Y、Z(東西、南北、鉛直方向)を測定し、②式によってベクトルの振幅値を算出した³⁾。

$$\text{磁場}[\mu\text{T}] = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad \dots(2)$$

3. 結果

(1) 電磁波・昼間計測

2月16日 10:30-19:00において取得した電場強度のうち、各アンテナ種類および測定方向、偏波ごとに最も高い電場強度を表-2に示す。これらの値は計測値にアンテナ係数、ケーブルロスを加

表-1 使用測定機器

使用機器名		製造会社名	型番	備考	
電磁波	信号受信器	スペクトラムアナライザ	Rohde & Schwarz	FPH 31	測定可能帯域:5kHz ~ 30GHz
		スペクトラムアナライザ	Rohde & Schwarz	FPH 6	測定可能帯域:5kHz ~ 6GHz
		スペクトラムアナライザ	Rohde & Schwarz	FSC 6	測定可能帯域:9kHz ~ 6GHz
	アンテナ	アクティブロッドアンテナ	ETS-LINDGREN	3301C	測定可能帯域:9kHz ~ 30MHz
		パイコニカルアンテナ	EMCO	3109	測定可能帯域:20MHz ~ 300MHz
		ログペリオディックアンテナ	EMCO	3146	測定可能帯域:200MHz ~ 1GHz
		ダブルリジッドガイド ホーンアンテナ	EMCO	3115	測定可能帯域:1GHz ~ 18GHz
ダブルリジッドガイド ホーンアンテナ	EMCO	3116	測定可能帯域:10GHz ~ 40GHz		
磁場	計測器	三軸磁界測定器	MTI	FM-385	交流磁場(20-1kHz)

味した空間の電場強度とした。各アンテナ、測定方向、偏波ごとのグラフを図-3~図-7に示す。

(2) 電磁波・夜間計測

2月16日19:30-2月17日9:30まで測定した電場強度の内、アンテナ毎に電場強度が大きい順に上位3位までを表-3に示す。また、夜間計測における最大電場強度のグラフを図-8に示す。

(3) 磁場・昼間計測

2月16日10:00-10:30および10:30-19:00に取得したデータから最大値と最小値の差を「変動磁場」、直流磁場の30秒間の平均値を「直流磁場」、および交流磁場測定の10分間の最大値を②式に代入し「交流磁場」として表-4に示した。グラフを図-9(a)~(c)に示す。

(4) 磁場・夜間計測

2月16日19:00-2月17日9:30までおよび9:30-10:00において取得したデータを表-4に示す。「変動磁場」、「直流磁場」および「交流磁場」の算出は昼間計測と同様とした。グラフを図-9(d)~(f)に示す。

4. 考察

4.1 電磁波測定

表-2、表-3の結果より、全計測の最大値として記録された電場強度は一般的な用途とされる地上デジタル放送波、携帯電話、無線LANが主なところであった。なお、夜間計測の上位3位にみられる

355MHzの電波は、警察、タクシー等の陸上移動無線と同様の周波数帯となるが、時間経過で比較した時、定常的に受信している事から測定場所近傍にある民間貨物事業所の無線であると推測される。

5Gの当該周波数である3.7GHz、4.5GHzおよび28GHzの電場強度には、昼間計測、夜間計測共にパルス状のピークは確認されなかった(図-6、図-7)。一方、本原稿執筆時(2021年10月)においては、測定場所において5G対応のスマートフォンで3.7GHzと4.5GHzの電波を受信することができる。これより、測定時点(2021年2月)において測定場所近隣には商用5Gのアンテナはまだ設置されていなかったこと、2021年2月から10月の間にアンテナが設置されたことが推測できる(スマートフォンには28GHzのアンテナは搭載されていないので、当該電波が放射されているかどうかは確認できない)。

また、汎用コンピュータや制御機器が正常に動作するための目安となる設置環境を規定した基準である「産業用情報処理・制御機器設置環境基準(JEITA IT-1004B)」⁴⁾によれば、汎用コンピュータや制御機器の電場ノイズにおける耐環境性能はClass Bに分類される。Class Bの電場ノイズは3V/mであり、(1)式により129.5dB μ V/mとなる。よって、汎用コンピュータは129.5dB μ V/mの放射電場ノイズ環境下であっても正常動作するという事を意味する。建築物を対象とした場合はさらに高基準値であるClass A(1V/m = 120dB μ V/m)を採用し検討を進める事が多い。今回の昼間計測および夜間計測の結果では、120dB μ V/mを超える電場強度は確認されなかった。

(a) 電磁波測定 (アクティブロッドアンテナの例)



(b) 磁場測定

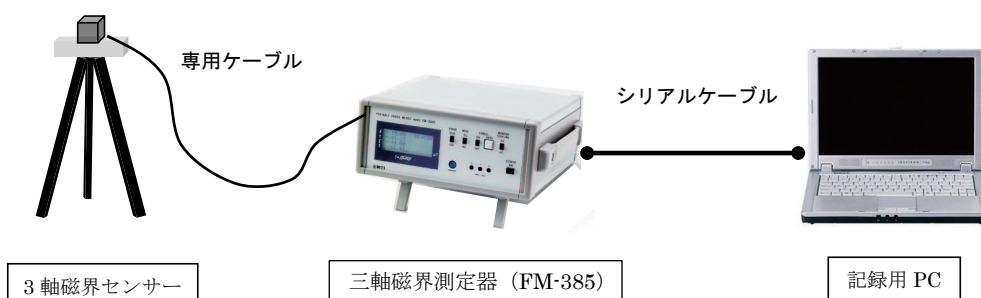


図-2 測定機器接続

4.2 磁場測定

磁場については、特異点はなく、直流磁場も地磁気レベルとなった。昼間計測、夜間計測ともに変動磁場計測でパルスが確認できるが、磁場センサーの設置場所が鉄製扉付近であることから、鉄扉の開閉により磁場に変動が生じたためと考えられる。

4.3 「通常」の把握

本測定では、特定できた電波については時代や測定場所を反映した人工由来のものばかりであり、その強度も耐環境性能(JEITA IT-1004B)を下回る程度であった。また、発生源が特定できない周波数帯の電波が観測されなかったことから、自然由来の突発的な電磁波の発生もなかったと考えられる。磁場に関しても特筆すべきものは測定されなかった。測定場所の電磁環境は、電子機器などの異常が引き起こされるような注意すべき外来波はなく、良好だったと言える。

本測定の目的は「通常」の電磁環境を把握することであるが、今回1度のみの結果を以って測定場所が通常であるとは言い難い。「通常」や「異常」は発生頻度の問題であり、そのためには長期観測が必要になる。今回の測定は、長期観測の初めの1つに位置づけられる。環境電磁波、特に人工由来の電波

は、時代に応じて使われる周波数が変わるので昔のデータが参考にならない可能性もあり、定期的に観測を行っていくことが必要である。

今後、定期的計測によって測定場所の「通常」を把握していきたい。その過程で得られる、天候や季節などの自然現象の変化による電波伝搬の影響、その他突発的な現象を起源とする電波のデータは、他の場所(例えば、建物建設予定地)の1日限りの計測データを読み解く際の参考になると考えられる。

5. まとめ

清水建設株式会社技術研究所内の研究棟屋上において環境電磁波計測を行い、人工由来の到来波を観測した。これらは、今後様々な場所で環境電磁波の評価を行う際の参考データとなる。

<参考文献>

- 1) 赤尾保男：環境電磁工学の基礎, 1991
- 2) 国土地理院地図 Vector によって作成した図に、測定場所、東京スカイツリー、東京タワーを追記して掲載
- 3) 日本建築学会：環境磁場の測定技術—現場における計測の事例—, 1998
- 4) (社)電子情報技術産業協会：産業用情報処理・制御機器設置環境基準 JEITA IT-1004B, 2017

表-2 電磁波・昼間計測の最大電場強度とその周波数

アンテナ	偏波	指向性	周波数 [MHz]	最大電場強度 [dB μ V/m]	主な用途
ロッドアンテナ	無し	無し	4.15	103.6	船舶無線、海上移動無線
バイコニカルアンテナ	水平	東西	145.89	91.18	陸上移動無線 等
		南北	145.89	91.29	〃
	垂直	無し	—	—	※1
ログペリオディック アンテナ	水平	東	520.00	100.66	地上デジタル放送波
		南	521.27	98.17	〃
		西	526.35	100.36	〃
		北	869.21	95.73	携帯電話
	垂直	東	865.40	96.00	携帯電話
		南	864.13	93.82	〃
		西	869.21	96.61	〃
		北	874.29	97.87	〃
ダブルリッチドガイド ホーンアンテナ	水平	東	1502.82	84.42	携帯電話
		南	1478.88	83.64	〃
		西	1478.88	83.42	〃
		北	1502.82	83.94	〃
	垂直	東	1502.82	81.86	携帯電話
		南	1478.88	82.15	〃
		西	1478.88	81.43	〃
		北	1478.88	82.04	〃
ダブルリッチドガイド ホーンアンテナ	水平	東	28922.54	40.77	電気通信事業用 (※2)
		南	28984.51	41.26	〃
		西	28953.53	40.76	〃
		北	28969.02	41.35	〃
	垂直	東	28938.03	40.72	〃
		南	28969.02	40.93	〃
		西	28984.51	41.15	〃
		北	28953.53	41.05	〃

※1 アンテナ固定治具の都合により測定不可

※2 本測定ではピーク確認できず

表-3 電磁波・夜間計測の最大電場強度（上位3位）とその周波数および取得時間

アンテナ	周波数 [MHz]	電場強度 [dB μ V/m]	取得時間	主な用途
ログペリオディック アンテナ	954.93	93.63	2/16 22:32 頃	携帯電話
	864.79	92.02	2/17 1:17 頃	〃
	355.50	91.38	2/17 4:18 頃	貨物・運送事業用無線
ダブルリッチド ガイド ホーンアンテナ	2422.54	104.45	2/16 22:06 頃	ISM バンド、無線 LAN
	1725.36	103.13	2/16 23:21 頃	携帯電話
	5535.22	100.84	2/16 22:06 頃	船舶レーダー、GPS、無線 LAN

表-4 磁場変動、直流磁場と交流磁場

単位: μT

測定種	昼間計測 2月16日 10:30-19:00	夜間計測 2月16日 19:00-2月17日 10:00
	合成値 (X, Y, Z)	合成値 (X, Y, Z)
磁場変動	3.43 (2.34, 1.12, 2.25)	3.20 (0.41, 1.90, 2.54)
直流磁場	— (-29.89, 23.87, 13.27)	— (-10.34, 45.80, 14.14)
交流磁場	0.036 (0.00, 0.02, 0.03)	0.046 (0.01, 0.02, 0.04)

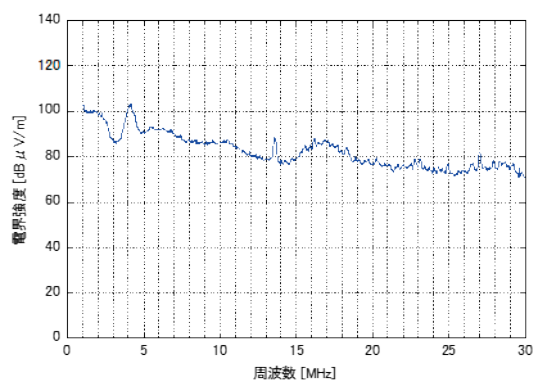
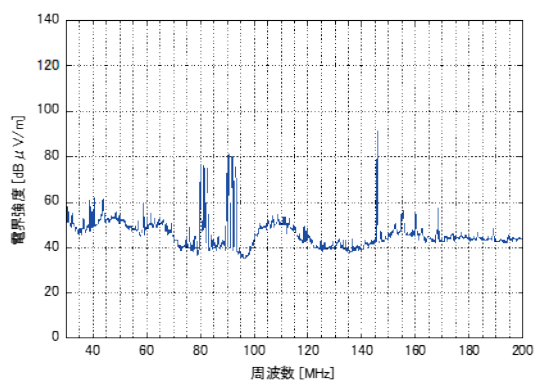


図-3 電磁波・昼間計測. 周波数 1MHz~30MHz・垂直偏波 (無指向性)

(a) 水平偏波 (南北方向)



(b) 水平偏波 (東西方向)

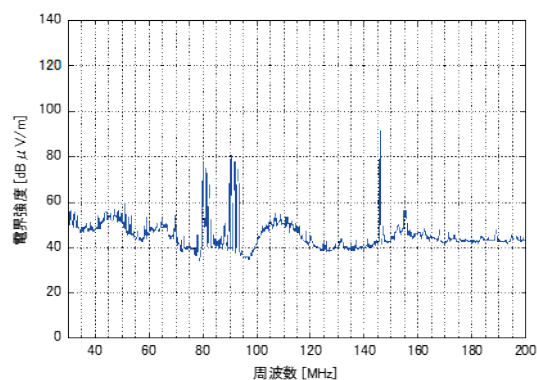
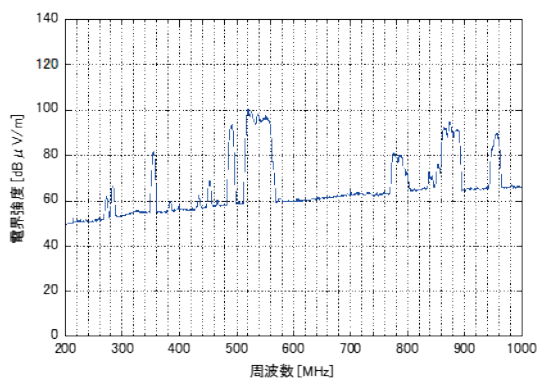
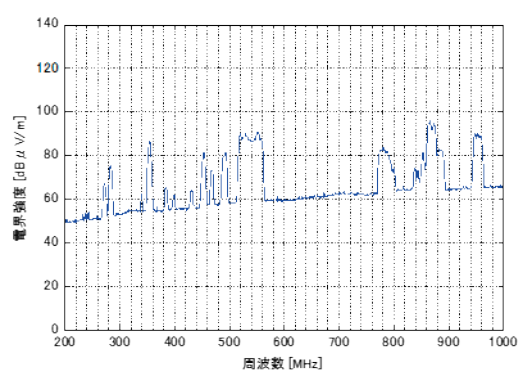


図-4 電磁波・昼間計測. 周波数 30MHz~200MHz

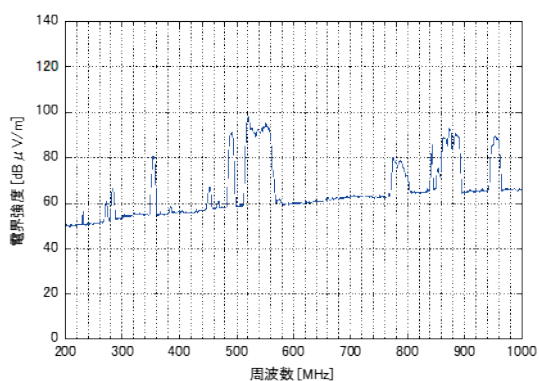
(a) 水平偏波 (東方向)



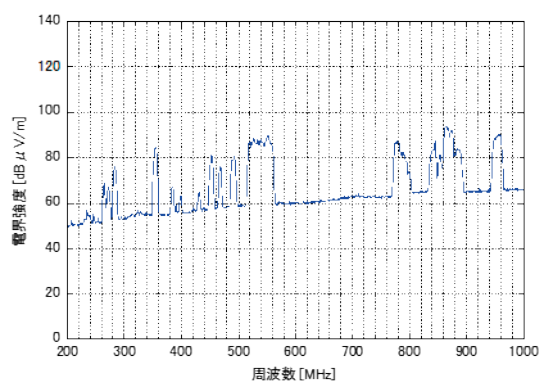
(e) 垂直偏波 (東方向)



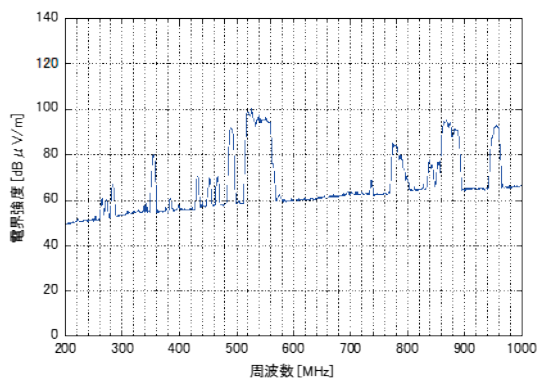
(b) 水平偏波 (南方向)



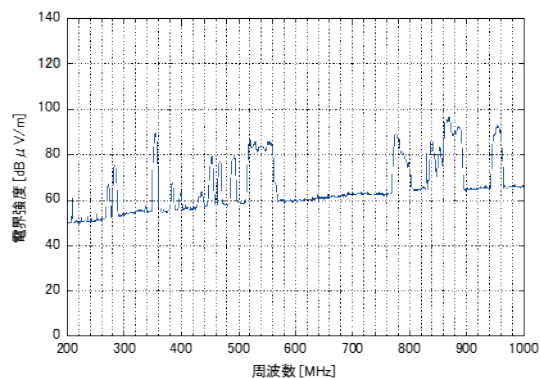
(f) 垂直偏波 (南方向)



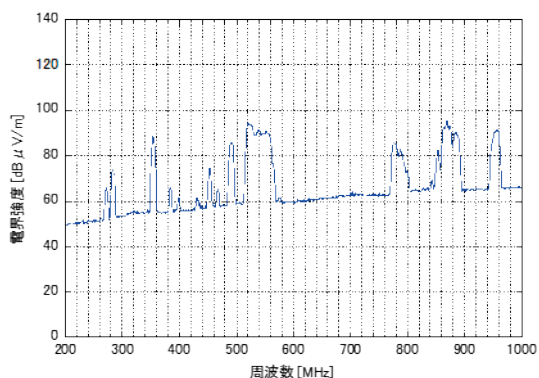
(c) 水平偏波 (西方向)



(g) 垂直偏波 (西方向)



(d) 水平偏波 (北方向)



(h) 垂直偏波 (北方向)

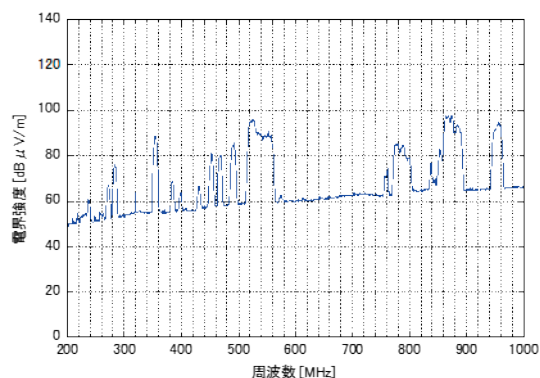
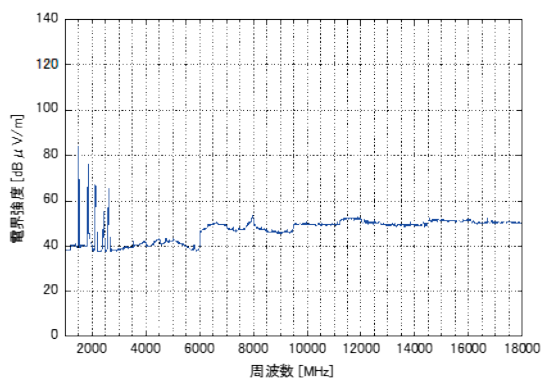
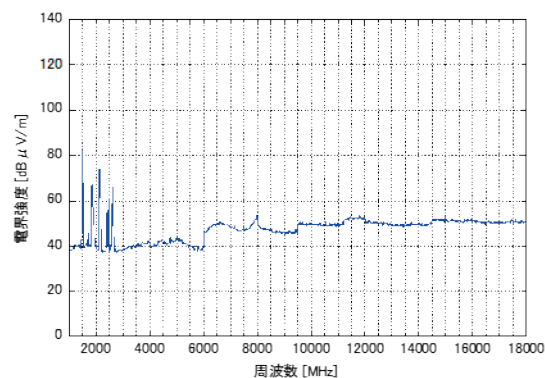


図-5 電磁波・昼間計測. 周波数 200MHz~1000MHz

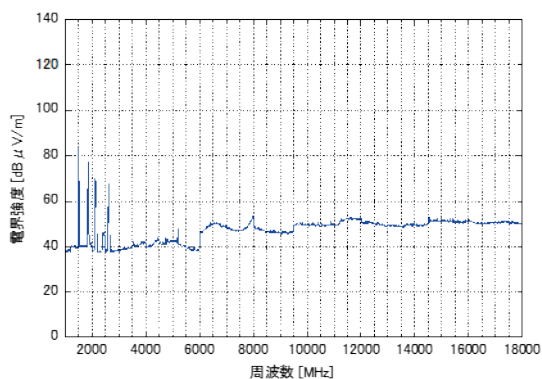
(a) 水平偏波 (東方向)



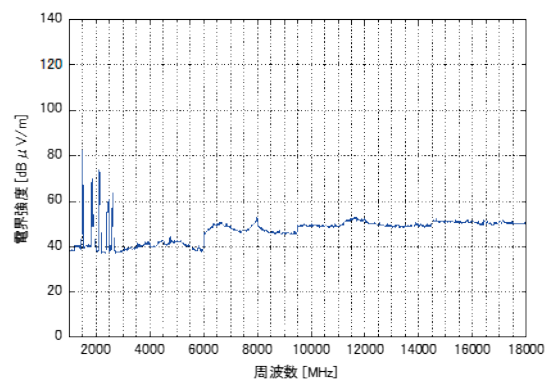
(e) 垂直偏波 (東方向)



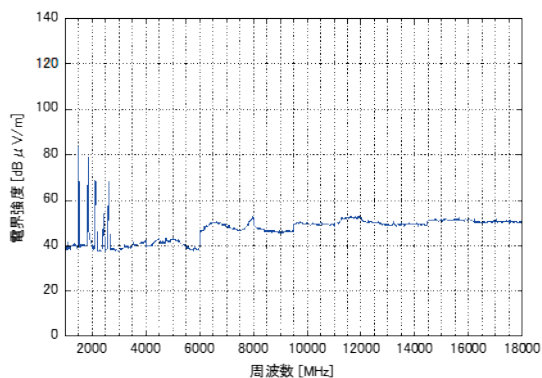
(b) 水平偏波 (南方向)



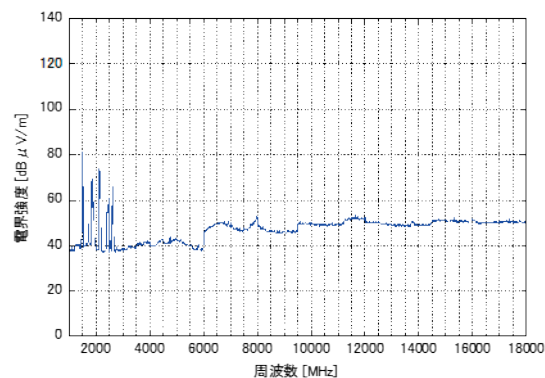
(f) 垂直偏波 (南方向)



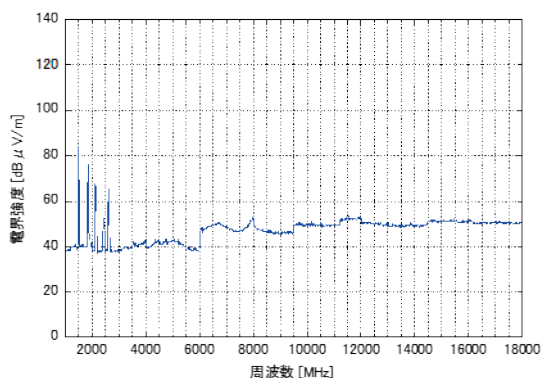
(c) 水平偏波 (西方向)



(g) 垂直偏波 (西方向)



(d) 水平偏波 (北方向)



(h) 垂直偏波 (北方向)

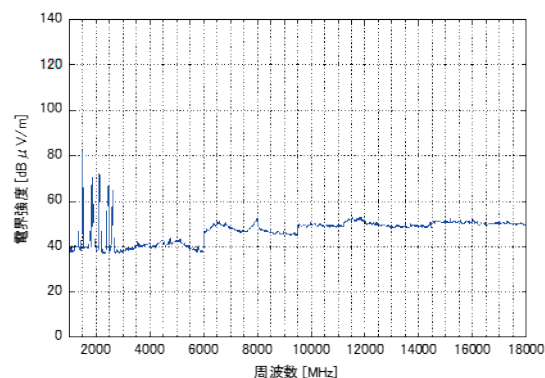
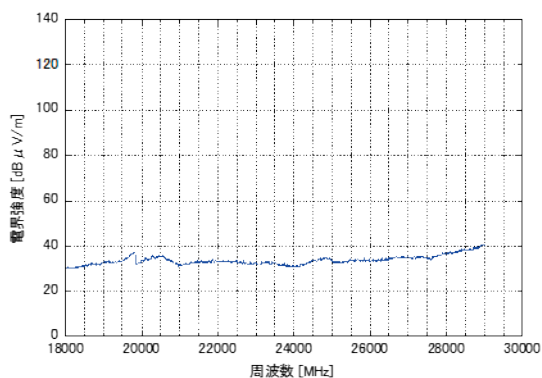
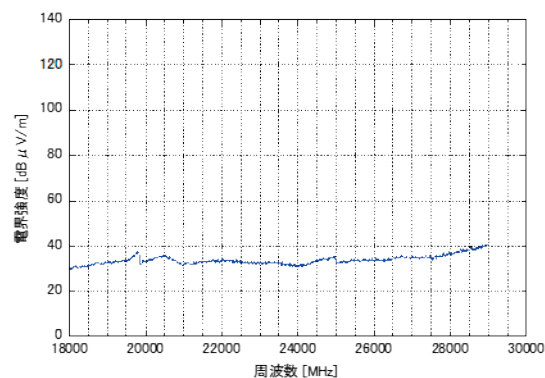


図-6 電磁波・昼間計測. 周波数 1000MHz~18000MHz

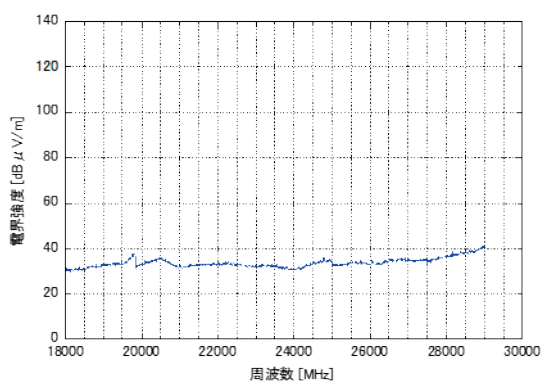
(a) 水平偏波 (東方向)



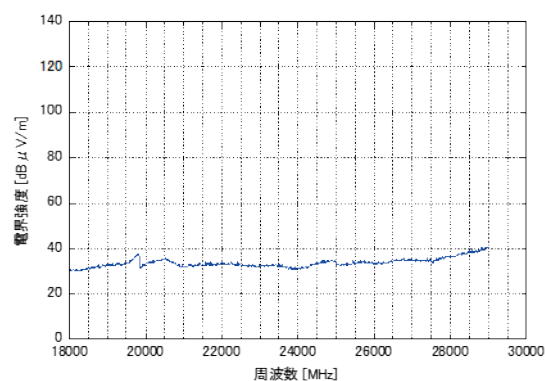
(e) 垂直偏波 (東方向)



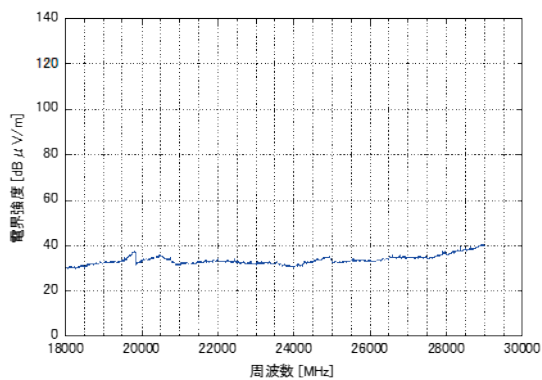
(b) 水平偏波 (南方向)



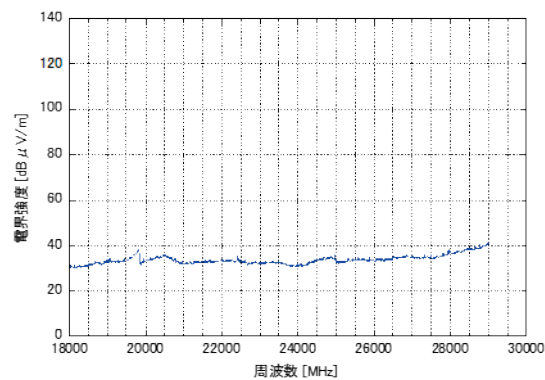
(f) 垂直偏波 (南方向)



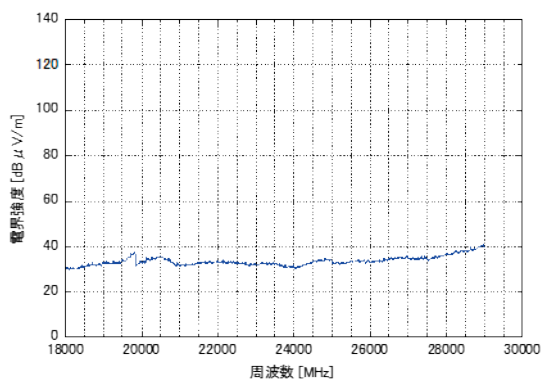
(c) 水平偏波 (西方向)



(g) 垂直偏波 (西方向)



(d) 水平偏波 (北方向)



(h) 垂直偏波 (北方向)

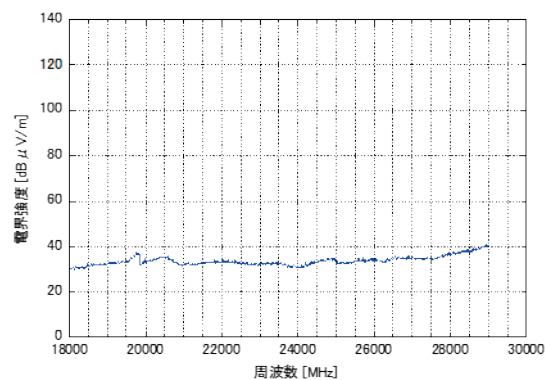
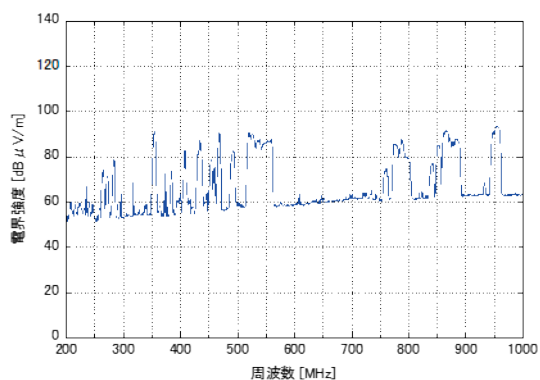


図-7 電磁波・昼間計測. 周波数 18000MHz~29000MHz

(a) 周波数 200MHz~1000MHz



(b) 周波数 1000MHz~6000MHz

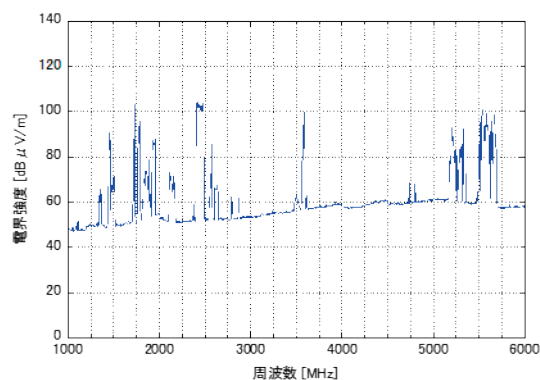
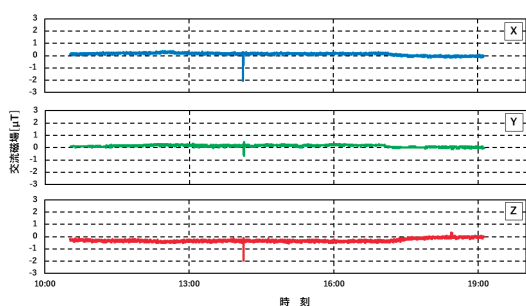
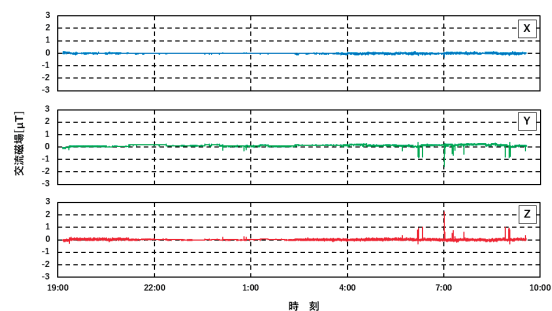


図-8 電磁波・夜間計測. 垂直偏波 (北方向)

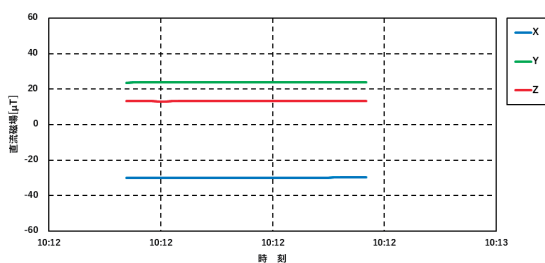
(a) 昼間計測・磁場変動(2月16日)



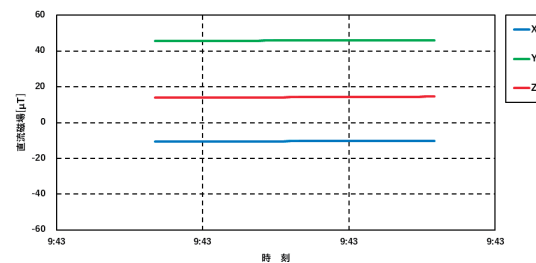
(d) 夜間計測・磁場変動(2月16日~2月17日)



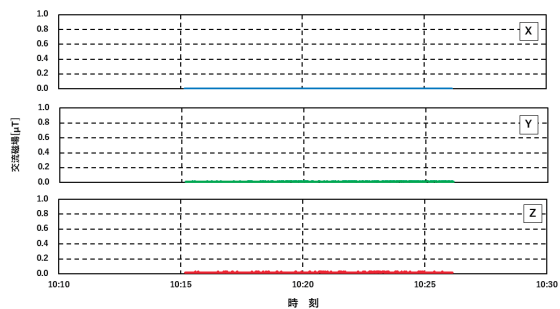
(b) 昼間計測・直流磁場(2月16日)



(e) 夜間計測・直流磁場(2月17日)



(c) 昼間計測・交流磁場(2月16日)



(f) 夜間計測・交流磁場(2月17日)

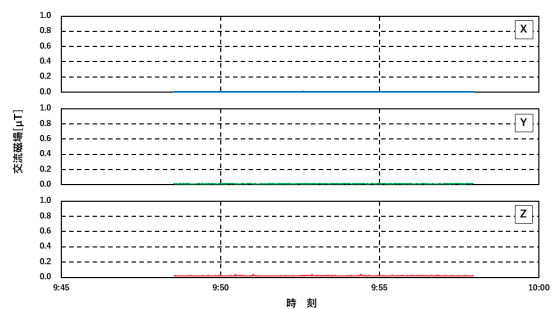


図-9 磁場測定. (a)~(c)昼間計測, (d)~(f)夜間計測