

K 市 GIGA スクール構想対象の小学校中学校での電磁波計測 報告書

2021 年 8 月 8 日 上田昌文 (NPO 法人市民科学研究室)

●計測日時：2020 年 7 月 8 日 (木) 16:18-17:00

●測定場所：[REDACTED] K 市 市立小学校 (A 校) ならびに 市立中学校 (B 校)

●計測機器：高周波&低周波 測定器 GQ Electronics EMF-390

測定可能強度幅： $0.02 \mu\text{W}/\text{m}^2 \sim 9999\text{mW}/\text{m}^2$

測定可能周波数帯域：50MHz~10GHz 分解能： $0.01 \mu\text{W}/\text{m}^2 (=1\text{pW}/\text{cm}^2)$

測定精度： $\pm 1.0\text{dB}$ 高周波 (マイクロ波) 電磁波測定器 TM-195

*仕様については

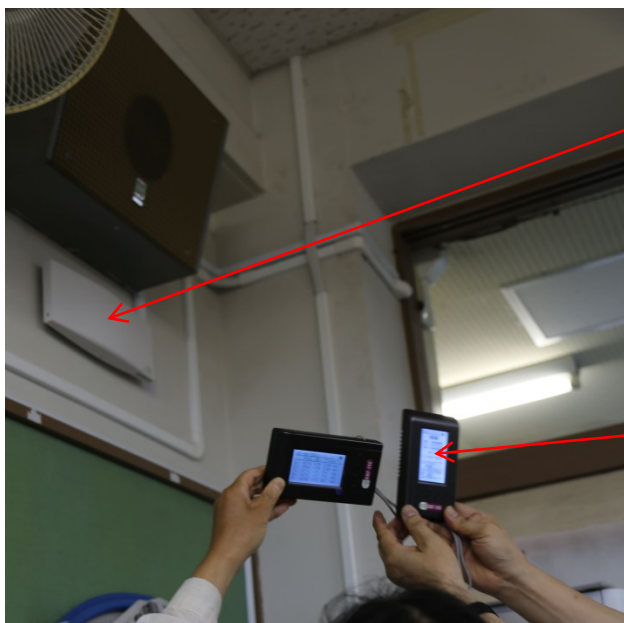
https://www.shiminkagaku.org/wp/wp-content/uploads/GQEMF-390_specification.pdf

*使用説明については

https://www.gqelectronicsllc.com/download/EMF390_Japanese.pdf

●測定対象となった空間の様相や放射源 (機器類) について

- ・小学校 A 校については 3 階に位置する 3 つの教室 (教室 I、II、III) で計測した。中学校 (B 校) では 3 階に位置する 1 つの教室 (教室 IV) で計測した。
- ・いずれの教室も約 7 m×約 7 m の床平面に生徒用の机が 30 台配置されている (教壇に向かって、黒板に平行に 5 列、それに垂直に 6 列の並び)。
- ・A 校の教室 I、II、III はいずれも校舎の 3 階にあり、隣接している。窓側が南向き、廊下側が北向きとなる。それらの窓からは 200~300m ほど離れたところに携帯電話基地局が 2 基目視できる (実際はもっと多数あることが後に確認されているが、その詳細は把握できていない)。
B 校の教室 IV でも、窓からは 200~300m ほど離れたところに携帯基地局が 6 基目視できる (A 校から見えるものも含まれていると思われるが、その詳細は把握できていない)。
- ・図で示した各教室の右上の位置に、床から 2m50cm ほどの高さで壁に沿って Wi-Fi のルーター (無線 LAN アクセスポイント) が設置されている (【写真 i】参照)



壁に備え付けられている Wi-Fi ルーター
(無線 LAN アクセスポイント)

ルーターから約 1.2m 離れた位置で計測。
計測者は直立して手を伸ばしている。

【写真 i】ルーター (無線 LAN アクセスポイント) の位置

- ・ A 校でのルーターは「CISCO 20-E08-AP-025」（【写真 ii】参照）、B 校のルーターは「CISCO 20-J13-AP-025」である。この CISCO という企業は、現在、以下のサイトにみるように、GIGA スクール構想に対応するシステムと機器の販売を推進している。

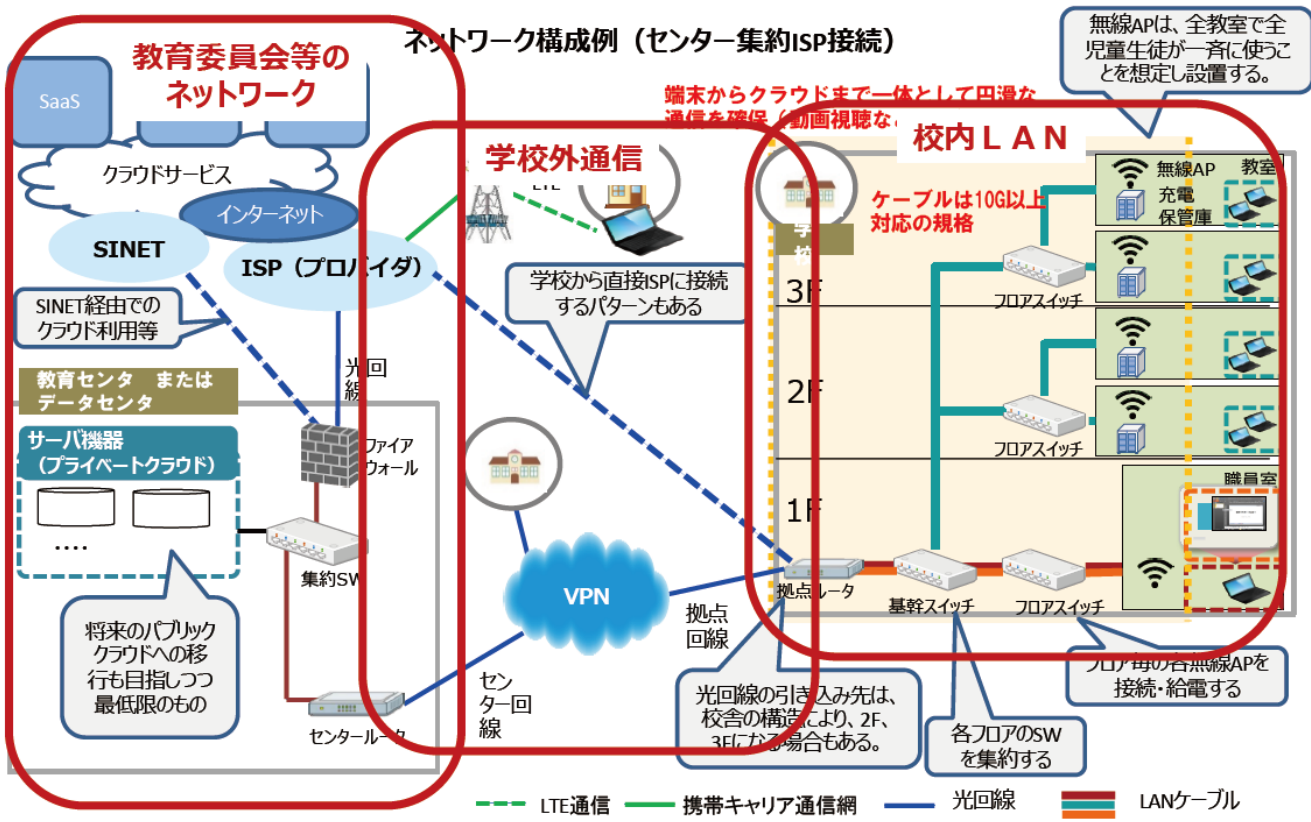
https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/industries/education/gigaschool.html

ただ、A 校と B 校で使用されているルーターそのものの使用説明書や導入事例はウェブサイトには公開されておらず、学校側がなぜこの企業のこの機器を選定したのかの理由の推測は難しい。



【写真 ii】使用されているルーター（無線 LAN アクセスポイント）

- ・ 教室に導入されているシステムは、以下の文部科学省の資料に準じるものだとすると、



【図 1】資料「適切な学校 ICT 環境整備に向けて」（令和 2 年 6 月、文部科学省）

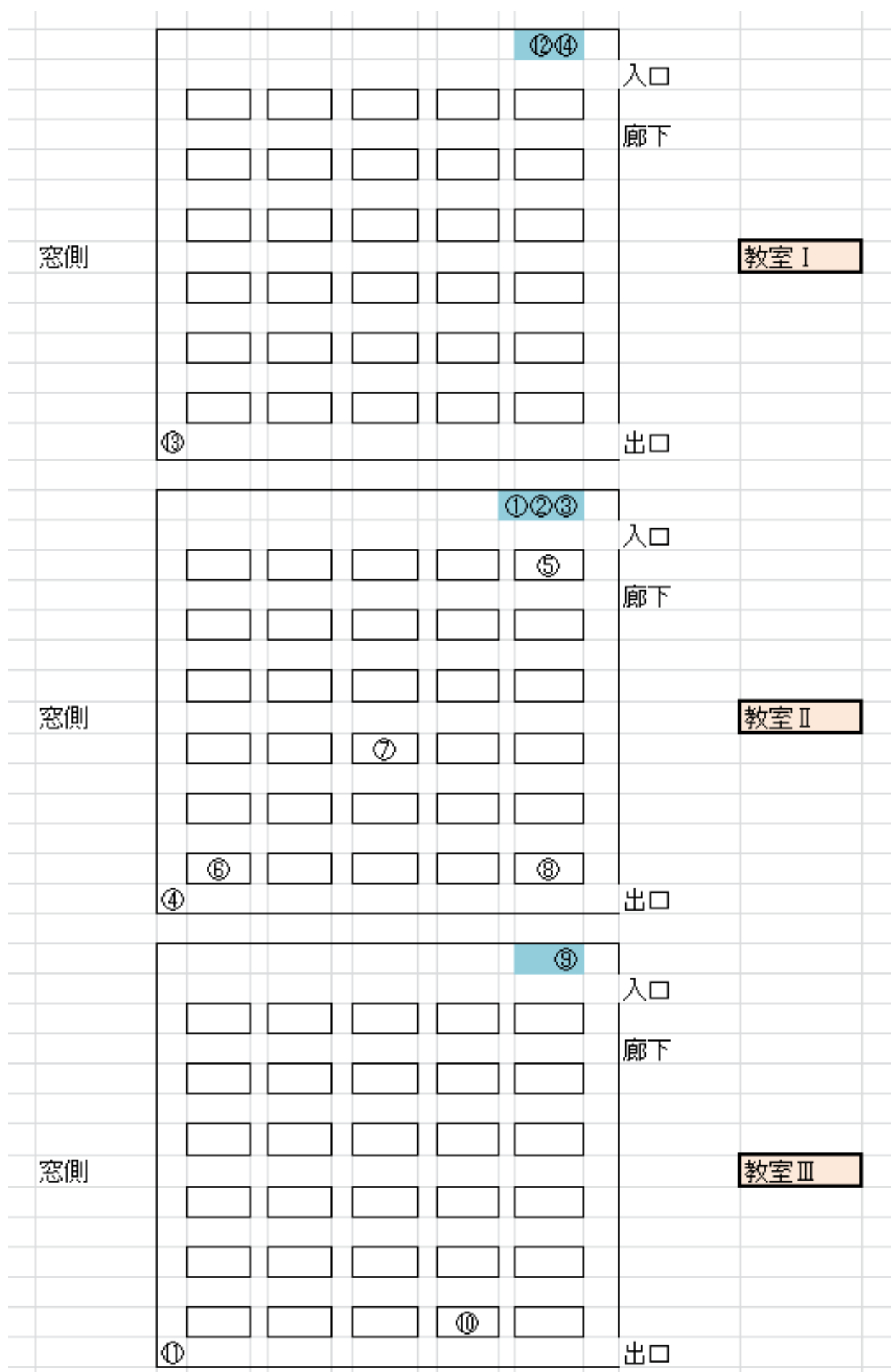
https://www.oetc.jp/ict/img/pdf/doc_20200626_01.pdf

各教室の無線 LAN アクセスポイント（【写真 i】の機器）はフロアスイッチに束ねられ、それが基幹スイッチにつながられ、拠点ルーター（学校ごとに割り当てられたルーター）を介してインターネットや場合によっては教育委員会のネットワークにつながれているはずである。教室Ⅱの入口廊下側の壁面に備え付けてあった機器は、おそらく【図 1】のフロアスイッチに相当するものであろう（【写真 iii】参照）。これに電源ケーブルが見当たらなかったのは、このシステムが「PoE 給電」（「Power over Ethernet」の頭文字をとったもので、コンセントからではなく LAN ケーブルによって電源を確保するシステム）を採用しているからであろう。このフロアスイッチの近くで低周波磁界を測定してみたところ、その周辺と変わらない大きさになっていた。なお、この機器から 60cm ほど離れた位置での高周波を測定したところ 0.047mW/m^2 となっていた。

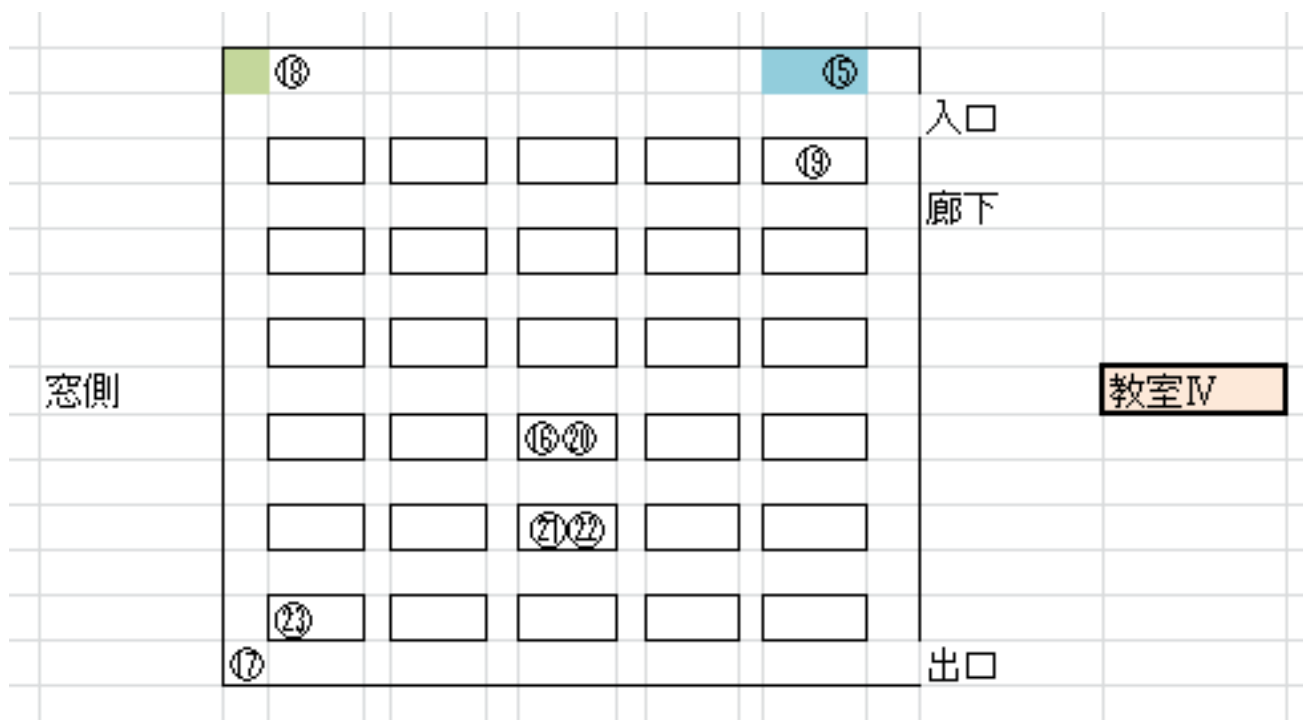


【写真 iii】教室の外側の、廊下に向けた側の壁に天井にあてて設置してあるフロアスイッチ

- ・各教室には無線 LAN で作動する「プリンター」と各生徒が使用する端末 PC（Chromebook）を充電しつつ保管する「保管庫」がある。A 学校（教室Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）では教室の入口を入ってすぐ右横（アクセスポイントの下）にプリンター、そして同じ位置で床面に置かれた「保管庫」があり、B 校（教室Ⅳ）ではプリンターと保管庫が教室の前方（黒板側）右端（窓側）に設置されている。【図 2】で言うと、それぞれ、 と に色付けた位置になる。プリンターは A 校では常時 ON になっており、アクセスポイントとつながって無線のやりとりをしている。また、B 校では測定時はプリンターは OFF になっていた。保管庫の充電器は、詳しい仕組みは不明だが、それぞれ装着した端末機の充電が終わると OFF になるようであり、保管庫の前面で低周波磁界を測定したところ、その周辺と変わらない大きさになっていた。
- ・各教室で測定する際に、生徒が使用する机の上に端末 PC（Chromebook）があったのかどうか、それがどういう稼働状態になっていたのか、については、測定値を記した【表】に個別に記し、測定時の条件が判断できるようにした。



【図 2】A 校測定地点



【図 3】B 校測定地点

●測定結果

・教室内のアクセスポイントから各測定地点（測定器の位置）までの距離は厳密なものではない。各教室のアクセスポイントの位置が床から 2.5m、プリンターの設置の高さは地上 1m、机の高さは 0.6m、教室は 7m×7m として、計算している。

・測定時に拾うことのできた支配的な周波数は

教室 I では 2.437GHz,2.438GHz,2.440GHz,2.440GHz,2.442GHz,2.444GHz,2.447GHz

教室 II では 2.442GHz,2.443GHz,2.444GHz

教室 III では 2.456GHz,2.467GHz

教室 IV では 2.405GHz,2.408GHz,2.444 GHz

となっており、すべて無線 LAN に用いられる 2.4 帯の電波であることが確認できている。

地点 番号	測定時の端末 PC のなどの 稼働状況	アクセスポイントからの距離 (m)	無線周波数電磁波（高周波） の最大値(mW/m ²)	特 記 事項
①	30 台の端末 PC が稼働中。 プリンターは ON。	0.6	4.18	
②	30 台の端末 PC が稼働中。 プリンターは ON。	1.0 ただしプリンターに最接近	15.5	
③	30 台の端末 PC が稼働中。 プリンターはこの時だけ OFF にした。	1.0 ただしプリンターは OFF	0.806	
④	30 台の端末 PC が稼働中。プ リンターは ON。	9.8	0.02 （2 回目 0.032）※1	※1
⑤	30 台の端末 PC が稼働中。プ リンターは ON。	2.2	16.0 （7.7mG ※2）	※2

⑥	30 台の端末 PC が稼働中。プリンターは ON。	9.7	1.05 (2 回目 0.012) ※3	
⑦	30 台の端末 PC が稼働中。プリンターは ON。	5.3	0.042 (※4) 0.063 (※5)	※4,5
⑧	30 台の端末 PC が稼働中。プリンターは ON。	7.3	0.025	
⑨	30 台もしくは 31 台の端末 PC が稼働中。プリンターは ON。	0.6	5.69	
⑩	30 台もしくは 31 台の端末 PC が稼働中。プリンターは ON。	6,6	5.74 (3.32)	
⑪	30 台もしくは 31 台の端末 PC が稼働中。プリンターは ON。	9.8	0.316	
⑫	端末 PC はない。プリンターは ON。	1.0 ただしプリンターに最接近	11.9	
⑬	端末 PC はない。	9.8	0.022	
⑭	端末 PC はない。 充電器の磁場を測定。	—	1.1mG (※6)	※6
⑮	端末 PC はない。プリンターは OFF。	1.0	2.63	
⑯	端末 PC はない。プリンターは OFF。	5.3	0.058 (2 回目 0.057)	
⑰	端末 PC はない。プリンターは OFF。	9.8	0.243 (2 回目 0.143)	
⑱	端末 PC はない。プリンターは OFF。	7.1	0.034	
⑲	端末 PC をこの机で 1 台稼働。 プリンターは OFF。	5.3	3.24	
⑳	端末 PC をこの机で 1 台稼働。 プリンターは OFF。	5.3	2.59	
㉑	別のタブレット 1 台をこの机に置くが稼働させない。	5.8	0.007	
㉒	別のタブレット 1 台をこの机に置いて稼働。	5.8	1.29	
㉓	端末 PC をこの机で 1 台稼働。 プリンターは OFF。	9.4	2.42	

【表】A 校と B 校における測定地点と測定結果の一覧

特記事項

※1：1回目と2回目の値が異なっているが、この程度の変動は常に生じると考えられる。

※2：机の上に置いた端末 PC が稼働している。その PC のキーボード中央部分での高周波と低周波磁場を計測している。

※3：ここでの2回の数値は変動が大きすぎる。何か別の特殊な原因があるものと思われる（計測に立ち会った人々には各自の携帯電話・スマートフォンをすべて OFF にするようにお願いしたが、それを実行していない人がいたのかもしれない。はっきりしたことはわからない。）

※4：PC は稼働しているが、動画を観るなどの新たな操作は行っていない。

※5：PC を稼働させながら、学校のコンテンツとして用意された動画サイトにアクセスしてそれをストリーミングで観ている。

※6：充電器の開口式の扉の手前で磁場を測定している。

●考察

1) まずは、高周波電磁波（無線周波数、いわゆる電波の電磁波）の電力束密度（いわゆる電波強度）を表す単位について述べておく。今回用いた計測器 GQ Electronics EMF-390 で採用されているのは、 mW/m^2 という単位である。以下に述べるなかで随時使用する単位の $\mu\text{W}/\text{m}^2$ に換算すると、数値の桁がどう変わるかを確認しておく。

$$1 \text{ mW}/\text{m}^2 = 1 \times 1000 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 1 \times 1000 \mu / 100 \times 100 \text{ cm}^2 = 1 \times (1000/10000) \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$$

の関係がある。したがって、例えば測定値の①4.18、②15.5、③0.806、④0.02 はそれぞれ、 $4.18 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ $1.55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ $0.0806 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ $0.002 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ と、一桁小さな数値となることに留意されたい。

2) 今回計測できた高周波電磁波の強さを評価してみよう。

強い値になったのは、②の $15.5 \text{ mW}/\text{m}^2$ ($=1.55 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)、⑤の $16.0 \text{ mW}/\text{m}^2$ ($=1.60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) のである。これには共通項がある。アクセスポイントに一番近接した位置にプリンターがありその近辺で測っていることと（②）、そのプリンターに最も近い座席の上に置いた端末 PC に最近接した位置で測っていること（⑤）である。アクセスポイントとプリンター、そして端末 PC が接近した位置で稼働する時、その近辺では頻繁に $1.0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ を超えるような電波強度が生じる空間になっていることがわかる。

3) 一方、④と⑪と⑰というアクセスポイントと対角線上で最も遠い位置ある地点での測定値がそれぞれ、0.02（あるいは 0.032） mW/m^2 、0.316 mW/m^2 、0.243 mW/m^2 となっていることからわかるように、アクセスポイントから 10m 近く離れていれば、教室内で PC が稼働しているかないにかかわらず、1) でみた最も大きな値に比べて、数十分の 1 程度（あるいは数百分の 1 程度）に強度が小さくなる。ただしこれは、その位置で PC を稼働してその PC に近接した位置で測った場合は違ってくる。②の結果からは、教室内に他の端末 PC はなくて、この最も離れた位置で PC を 1 台稼働した場合には、その PC の近くで $2.42 \text{ mW}/\text{m}^2$ を示している。⑥は似たような条件にある地点での測定だが、この場合は端末 PC の近くで測ったわけではないにもかかわらず、 $1.05 \text{ mW}/\text{m}^2$ （2 回目 $0.012 \text{ mW}/\text{m}^2$ ）という百倍近いバラツキのある値を示している。距離で見ると、⑧（7.3m）と⑨（6.6m）は似た条件にある地点だが、 $0.025 \text{ mW}/\text{m}^2$ と $5.74 \text{ mW}/\text{m}^2$ （2 回目は $3.32 \text{ mW}/\text{m}^2$ ）と百倍以上の開きがある。室内で端末 PC が稼働している場合、その机の位置では、 $0.001 \text{ mW}/\text{m}^2$ から $10.0 \text{ mW}/\text{m}^2$ という 1 万倍の開きの幅のなかで様々な電波強度が変動しつつ曝露を生じる、という可能性があるように思われる。つまり教室内という比較的狭い空間のなかでは、距離による電波強度の減衰はあまり安定的に得られず、「教室内で強くなるのはアクセスポイント、それとつながっているプリンターの近辺、そして手元で稼働している端末 PC の近辺」ということになるように思わ

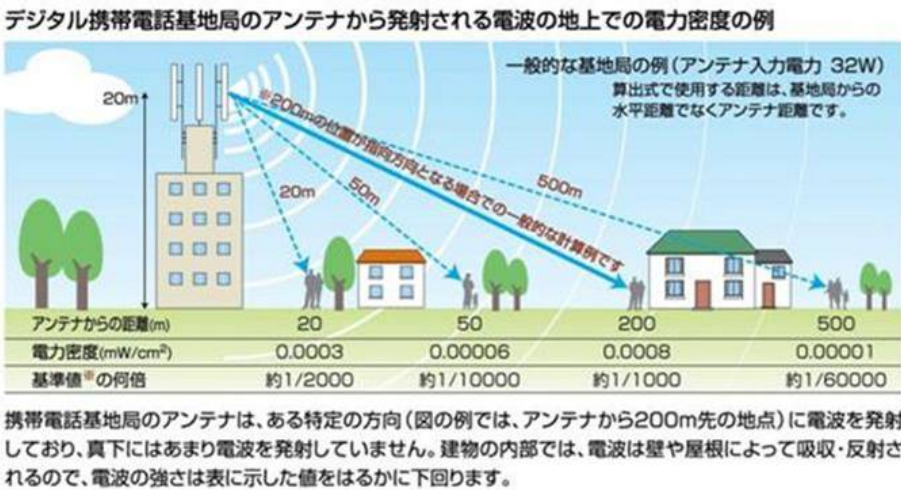
れる。

4) PC をアクセスポイントにつないで動画を検索してみるなどの操作を行った場合と、PC を OFF にしてつながない場合とでは曝露が大きく違ってくることを示したのが、⑪と⑫である。0.007 と 1.29 という数百倍の違いが生じている。

5) 計測した値を、日本ならびに海外の基準値、そして海外でなされた Wi-Fi による曝露を調査した際のデータと比べてみる。

＜総務省の基準値との比較＞

総務省は、環境中の電波の強さが、日本で施行されている『電波防護指針』（※7）の基準値と比べていかに微弱であるかを説明するのに、以下の図をよく用いる（総務省パンフレット「電波と安心な暮らし」（2014 年 2 月））。



この図において、距離 20m,50m,200m,500m の位置の地上での携帯電話基地局アンテナからの電磁波の電力密度は、それぞれ、3.0mW/m²、0.6mW/m²、8.0mW/m²、0.1mW/m²となっている。それぞれを $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ を用いて表すと、0.3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、0.06 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、0.8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、0.01 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、となる。今回の計測で得られた②と⑤の値は、1.55 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、1.60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であるから、上図の値と比べて数倍は強いことになる。つまり、基準値の何百分の一ではあるものの、GIGA スクール構想によるアクセスポイントが設けられ作動している教室内は、必ずしも端末 PC の近辺でなくても、携帯基地局が存在する街中の地上高での曝露よりも若干大きい（数倍程度の）曝露が生じることがある環境となっている。

※7『電波防護指針』に定められた基準値は正確には以下になる。

表 3 (a) 条件 G の電磁界強度（6 分間平均値）の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 E[V/m]	磁界強度の実効値 H[A/m]	電力密度 S[mW/cm ²]
10kHz - 30kHz	275	72.8	
30kHz - 3MHz	275	2.18f(MHz) ⁻¹ (72.8-0.728)	
3MHz - 30MHz	824f(MHz) ⁻¹ (275-27.5)	2.18f(MHz) ⁻¹ (0.728-0.0728)	
30MHz - 300MHz	27.5	0.0728	0.2
300MHz - 1.5GHz	1.585f(MHz) ^{1/2} (27.5-61.4)	f(MHz) ^{1/2} /237.8 (0.0728-0.163)	f(MHz)/1500 (0.2-1)
1.5GHz - 300GHz	61.4	0.163	1

<イタリアの注意値・品質目標値との比較>

海外で比較的厳しい電磁波の規制値を定めている国の一つにイタリアがある。イタリアは注意値・品質目標値として $9.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (※8) を定めている。

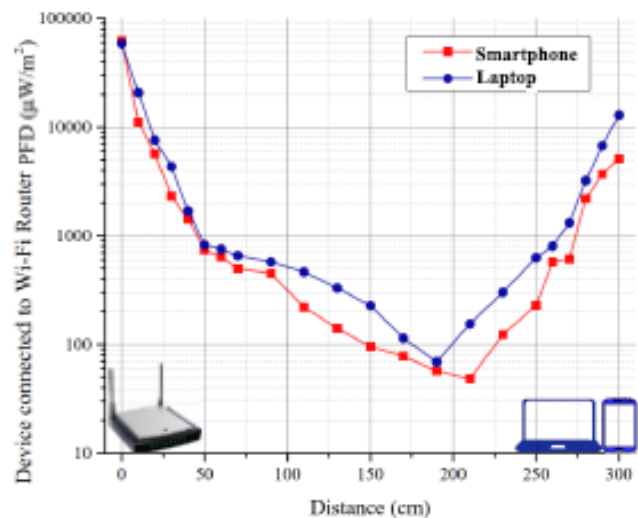
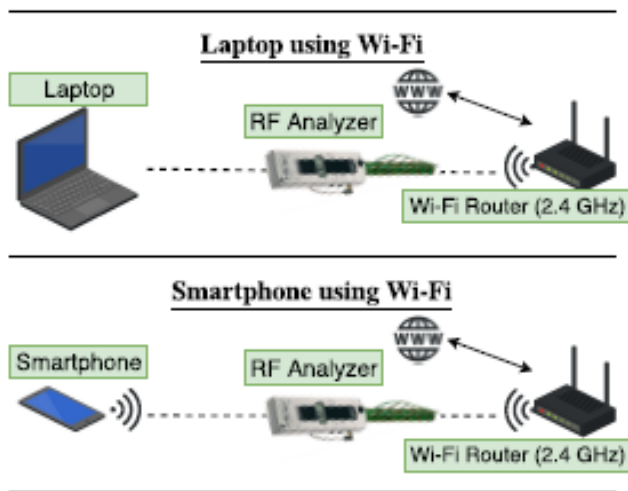
※8 100 kHz～300 GHz：ばく露限界、注意値、品質目標の3レベルで規制している。それぞれ、曝露限界（絶対に超過不可上限）： 20 V/m , $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、注意値（4時間以上滞在の建物内）： 6 V/m , $9.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、品質目標（戸外の多数集合場所）： 6 V/m , $9.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ である。なお、「注意値」の適用場所は「人々が連続4時間以上滞在する建物内、住宅の屋外付属施設（バルコニー、テラス、中庭、平らな屋上は除く）」としており、「品質目標」の適用場所は「戸外で多人数が頻繁に参集する場所（建物、常設施設）」としている。この $9.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ と比べると、②と⑤の値は $1.55\mu\text{W}/\text{cm}^2$ と $1.60\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であるから、今回のような PC 端末の稼働状況においては、GIGA スクール構想に応じた教室での電波の強度は、高くなる場所でもこのイタリアの注意値・品質目標値の数分の1程度に収まっていることがわかる。しかし、端末 PC によってより大容量のデータを頻繁にやりとりするような稼働状況となれば、この $9.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ という値を超えることも生じるだろうと推測される。

<Wi-Fi 機器からの電磁波の実測データとの比較>

論文 Naren et al., “Electromagnetic Radiation Due to Cellular, Wi-Fi and Bluetooth Technologies: How Safe Are We?”, IEEE Access Received January 11, 2020, accepted January 21, 2020 には、次の測定結果が記されている。

これは 2.4GHz 帯の電波を使った Wi-Fi ルーターを用いてラップトップ PC でインターネットにつないだ場合の、その2つの機器の間（300cm）で生じる電力密度が距離に応じてどう変化するかを測定したものである。

TABLE 4. Experimental setup for Wi-Fi devices.



(a) EMR results pertaining to a smartphone/laptop connected to a Wi-Fi router.

これによると、ルーターに最接近した位置で約 $80000\mu\text{W}/\text{m}^2$ 、2m 離れた位置で約 $100\mu\text{W}/\text{m}^2$ 、端末 PC に最接近した位置で約 $13000\mu\text{W}/\text{m}^2$ となっている。これらを $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の単位で表すと、 $8\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、 $0.01\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、 $1.3\mu\text{W}/\text{cm}^2$ となり、今回の計測とかなり近いオーダーの結果が得られている。すなわち、ルーター近辺では $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$ に近くなることがあり、稼働中の端末 PC ではその数分の1の強度は常に生じるだろう、という結果である。

6) 低周波磁界については、プリンター、保管庫（充電装置）、フロアスイッチのいずれも、そこから発生している磁界は微弱なものであった。しかし、⑤で 7.7mG が計測されたことからわかるように、稼働中の PC を手で操作する部分（キーボードの真上）での磁界は弱いとは言えない。これはラップトップ PC ではごくあたりまえに計測できる場の強さであり、長時間の曝露は問題視される強さであることは間違いない (※9)。

※9 詳しくは以下の報告書を参照のこと。

『WHO 電磁波プロジェクト 環境保健基準モノグラフ 第 238 巻 超低周波電磁界』

https://www.shiminkagaku.org/wp-content/uploads/403000_09.pdf

●勧告

1) 心身の発達の途上にある学童期の子どもたちが長時間・長期間にわたってある程度以上の強度の電磁波を曝露することへの懸念は、世界的に高まってきている(※10)。GIGA スクール構想に対応した無線 LAN システム(Wi-Fi)を導入した教室内で、計測できる高周波電磁波の電力密度は、日本の電波防護指針(あるいはそれが大幅に準拠している「国際非電離放射線防護委員会」のガイドライン)(※11)の基準値を下回することは確かだが—今回の計測で示された最も大きな値でもそれらの基準値の数百分の一に収まる—、予防的観点からより厳しい規制を導入している国々の基準値と比べると、それらをすべて下回るレベルではとは言えず、例えばイタリアの「注意値・品質目標値」を超えるかもしれない場所が、教室内の端末 PC の稼働状況によっては生じることが予想される。子どもたちがこうした環境に身を置くことは子どもたち自身にはまったく知らされないどころか、その保護者やあるいは教員にしても、教室内で生じているこうした曝露が、ベルギー、フランス、アメリカ合衆国のいくつかの州をはじめとするかなりの数の学校で問題視され、新たな規制を導入しようとする動きさえあることに(※12)、ほとんどまったく気づいていないだろうと思われる。

※10 上田昌文「新たな公害の世紀 — 電磁波の人体影響と社会の変容を中心に」『世界』2021 年 3 月号「特集 21 世紀の公害」P.86～P.97

※11 電磁界(100kHz–300GHz)へのばく露の制限に関するガイドライン

https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRP_RF_GL2020_Japanese.pdf

※12 SCHOOLS WORLDWIDE REMOVING THE WI-FI AND REDUCING EXPOSURE

<https://ehtrust.org/schools-worldwide-removing-wifi-reducing-exposure/>

2) そのような状況のなかで最も懸念されるのは、上記文献(※10)でも論じた環境不耐症(化学物質過敏症や電磁波過敏症など)と呼ばれる疾患が、このように高密度に電波を使用する環境によって増加するのではないか、という点である。現在、そうした兆候を持ち、それとおぼしき症状をいくらかでも示す、あるいはそうした不調を訴える学童がいるとすれば、GIGA スクールを導入した学校としては、慎重な対応を期することが求められる。すなわち、

◆Wi-Fi を用いる必要のない時間(例えば休憩時や給食時など)には、教室内のルーターを OFF にして、随時、電波が低密度となる環境を確保する。

◆端末 PC の稼働状況によっては今回の得られた測定値よりも大きな電力密度が計測される可能性があるので、学校自ら簡易な測定器を用いて、教室内の電波環境を随時チェックする。

◆過敏症(あるいは過敏症気味)の子どもを持つ親とは、そうした測定データをもとにして、電磁波曝露をできるだけ低減していけるような何らかの対処・対策を、話し合ったうえで、講じるようにする。

といったことが必要になるだろうと思われる。

以上の報告内容に関する問い合わせは以下にお願いします。

〒113-0034 文京区湯島 2-14-9 角田ビル 2F NPO 法人 市民科学研究室 上田昌文

TEL:03-5834-8328 メール:ueda.akifumi@shiminkagaku.org

<https://www.shiminkagaku.org/>