

情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波利用環境委員会
電波防護指針の在り方に関する検討作業班（第9回）
議事要旨（案）

1. 日時

平成30年4月20日（金）10:00～12:00

2. 場所

総務省中央合同庁舎2号館10階 1002会議室

3. 出席者

(1) 構成員（五十音順、敬称略）

平田主任、牛山主任代理、小島構成員、佐々木構成員、寺尾構成員、西方構成員、日景構成員、増田構成員、森松構成員、渡邊構成員

(2) オブザーバ

多氣氏

(3) 事務局（総務省）

近藤電波環境課課長、関口電波利用環境専門官、平野電波環境課課長補佐 他

4. 議事要旨

(1) 温感に関する研究動向について

西方構成員より資料9-2に基づき説明があった。主な質疑応答の概要は以下のとおり。

佐々木構成員) Blick らの結果との比較があるが、香西らの実験では電力密度のばく露面積をどのように定義しているか。

西方構成員) Blick らの実験における実際のばく露面積は直径約10cmの円形である。我々の実験におけるばく露面積は、全電力の50%が通過する最小の横断面の面積としている。全電力と面内での電力密度分布が分かれば、綺麗なガウスビームでない場合にもばく露面積を定義できる。円形の一様なビームであれば、電力の50%が通過する面積は丁度半分の面積となるため、スライド5のグラフではBlick らのデータのばく露面積を半分に補正する形で示している。

小島構成員) 温度や湿度は知覚に影響すると考えるが、実験室の温度と湿度はどのようにコントロールしているか。

西方構成員) 実験室の室温は空調でコントロールしている。実験データでは室温を記録しているが、おおよそ毎回同程度の室温にコントロールされている。湿度のコントロールはしていないが、実験の後半では湿度も記録するようにしている。

小島構成員) 湿度と知覚の相関はあったか。

西方構成員) まだその観点での分析はできていない。

牛山主任代理) スライド 3 の 50%知覚閾値の推定のグラフは、一個人のデータをこのように処理するという理解でよいか。

西方構成員) 一個人の一条件 (1つのばく露面積) のデータでの推定となる。

牛山主任代理) グラフ上の×がボタンを押した点ということでしょうか。

西方構成員) 香西らの 60GHz の実験では、ボタンではなく、10 秒間を上限時間としてばく露し、10 秒間の中で温感に気が付くかどうかの 2 値のデータを取っている。

牛山主任代理) 今回の委託研究ではボタンを押す形でデータを取ったということだが、この場合、十分な試行数のデータがないと推定のずれが大きくなるように思うが、不確かさを排除するという点において十分な試行回数の確保は考慮されているか。

西方構成員) 得られた反応時間のデータから制限時間 10 秒までに気が付いたかどうかの 2 値のデータを導出してスライド 3 と同様の推定を行うことができる。制御プログラムでは、データを取得する度に最尤推定を行い、設定された不確かさの幅になるまでデータを繰り返し取得する。ただし、時間の制限もあり、設定された不確かさの幅まで到達しないで終了する場合もあった。

森松構成員) 被験者はボランティアの方か。

西方構成員) 被験者は福島県立医大から被験者を募る会社を通じて選定している。

森松構成員) 男性であれば振動する作業を行う職業に従事されている方は末梢循環不全があり、レイノー現象が出るため評価に値しないと考える。また、女性も膠原病の場合はレイノー現象があり、知覚と循環に異常があるため、少なくとも問診等で除外されているかは、重要な点と考える。

西方構成員) 詳細は不明だが、何らかのスクリーニングをしていることは確か。

渡邊構成員) 研究結果を防護指針の改訂の参考にする上で、現行の防護指針は温感ではなく熱いという痛みの閾値に基づいているものだが、今回の温感の閾値で実際に被験者がどのように感じているのかも含めて、熱の閾値とどれだけの関連性があるのか、検討されていれば教えてほしい。

西方構成員) 被験者の主観的な感じ方について、香西らの 60GHz の実験では、毎回どのような感じ方をしたかを質問している。その結果、気が付いた時点でばく露を止めるにもかかわらず、チクツとするという痛覚の刺激があるような報告をするデータもあった。特に面積が小さいときにそういった傾向がある。

渡邊構成員) そういったデータをうまく抽出してまとめられると有益なデータとなる。

多氣オブザーバ) ご報告頂いた実験はばく露面積への依存性を検討しており貴重なデータである。トータルの電力とピーク値の電力で見たときで知覚閾値のばく露面積への依存性が逆の傾向となっているが、つまり、ピークに近い狭い領域で平均値を取った際に、この傾向がフラットになる可能性があるのではないか。

西方構成員) ある領域を切りだした結果、そこから出た部分が除外されることでちょうど依存性を消すような面積があると考えられる。

多氣オブザーバ) 今回のデータは 4cm^2 以上を見ていないが、このようなデータから平均化面積にかかわる結果が得られればと思った。

平田主任) 平均化面積については後半の議論で併せて議論したい。森松構成員、佐々木構成員のご質問は低減係数の議論にもつながるものなのでこちらも後半で議論したい。

(2) 入射電力密度の考え方について

佐々木構成員より資料 9-3 に基づき説明があった。主な質疑応答の概要は以下のとおり。

日景構成員) Brewster 角は偏波方向で変わるものの、結局電力で見た場合には垂直入射が一番過大となるという結論について、今回のシミュレーションでは皮膚表面は一様かつフラットとしているが、実際の皮膚は毛穴等の凹凸や細胞単位では方向性もあると推測する。こうした条件の中で垂直入射が最も安全側と結論付けてよい理由などあればより安心かと思う。

佐々木構成員) 今回の検討は多層平板モデルのため、1つの平板内で組織厚が変化する場合の検討はしていない。ただし、スライド 6 にあるように個体差などで組織厚が変わった時のばらつきはみている。温度上昇については正規分布を仮定した場合の標準偏差であれば約 10%程度であり、組織厚の均一性に関しては、温度が若干変化する可能性はあるが、その場合は個人的に低減係数で対応する必要があると考えている。

日景構成員) 基本的には、入射角が垂直となった場合が最も過大と考えられるが、それにあてはまらないケースについては低減係数で中に含まれる部分ということか。

平田主任) その点は低減係数には含まれないと考える。平板上であれば定在波などの最悪条件を含んでいると考える方が適切である。当然、毛穴等によって電波の伝搬が変化することもあるが、この場合は定在波がすべての平面において起こらないという状況である。平板は電気的には十分最悪の条件を含んだ上での温度上昇の考察と考えてよい。

寺尾構成員) 透過電力密度で考慮した場合の温度上昇はフラットということだが、周波数によって電波がどの程度深く浸透するかは、この周波数帯では考えなくても良いのか。

佐々木構成員) 周波数が高くなるにつれて電波の浸透の深さは短くなる。例えば、スライド 6 の $10\text{GHz}\sim 30\text{GHz}$ で若干差があるのは浸透の程度の違いによる影響が出ていると考える。透過電力密度を指標とすることで温度上昇がフラットになる前提として、温度上昇が生じる、ある 3次元のバルクの質量に対して、 30GHz 以上ではすべてのエネルギーが吸収されているという前提が含まれている。

渡邊構成員) 今回の検討は、平面波の入射を想定したものである。一方、実際の端末では、側にアンテナがあるので、平面波のように電界と磁界が同相で振動している状況ではなく、リアクティブなフィールドが出てくる可能性もある。ミリ波帯でこのような状

況を考える必要があるか、また温度上昇の観点で複素数となった入射電力密度が本質的なのかという点について、検討状況を説明してほしい。

佐々木構成員) 現在検討中のため明示的に示せるデータはないが、温度上昇と相関があるのは、生体内の(複素)ポインティングベクトルの実部であり、リアクティブなフィールドはアンテナ近傍で対数的に大きく減衰する成分なので、温度上昇には影響はない。ただし、端末のアンテナと皮膚の間で多重反射が起きて強め合う状況があれば、それによって生体内部への透過電力密度が大きくなる可能性がある。

平田主任) 佐々木構成員の検討は1次元的な幅広い電波を照射した場合、一方で西方構成員はかなり領域を絞ったスポット照射の検討であり、工学的見地からはやや性質の異なるものである。スポット照射の場合、熱源が集約されているため、同じ電力密度でも温度は上がりにくくなる。これは、生体の中で熱が拡散する現象によって生じる。この辺りは次の平均化面積の議論に係るのでご留意頂きたい。佐々木構成員の検討と次の平均化面積の議題は類似性があるテーマなので、次の議事でまとめて議論したい。

(3) 平均化面積について

平田主任より資料 9-4 に基づき説明があった。主な質疑応答の概要は以下のとおり。

渡邊構成員) スライド 6 でアンテナ近傍界へのばく露の方が温度上昇が大きくなるのは、平均化面積の中での平均電力密度としては同じだが、平均化面積の中に高い電力密度分布があるためにそこでの温度上昇が大きくなるということか。

平田主任) 4cm^2 で平均電力を同じにすると考えると、 1cm^2 の範囲では事実上 4 倍までの電力密度の集中が許容される。電力密度が 4 倍大きい場合には、数 10% 程度温度上昇が大きくなる。一方、 20cm^2 の平均電力密度を 1cm^2 に集中させると、20 倍の電力を集中させることになり、その部分の温度上昇は無視できなくなる。人の行動を考えた場合には、 1cm^2 の範囲で長時間電波をばく露することは現実的ではないと思うが、そういった行動を想定していないのであれば、こうした超過が出てくることが示唆されている。

佐々木構成員) 現行の ICNIRP ガイドラインは 20cm^2 の平均化面積に対する指針値と併せて 1cm^2 に対してその 20 倍を超えないようにとされているということだが、平田主任の検討では平均化面積を 20cm^2 から 4cm^2 で考慮した方が、対象とする周波数帯において安全の担保できるという考えでよいか。

平田主任) 安全性の担保には 2 つの要因がある。まず、温度との相関が取れる指標を求める必要がある。6GHz 以下では 10g 平均 SAR がその指標に該当するものだが、今回の検討は電力密度の場合、 4cm^2 で平均化すれば相関がとれそうだということが示唆された。その上で指針値をどう調整するかを 2 段階で検討する必要がある。温度と相関が良い指標があれば、それを測定できれば、おおよそ熱効果からの防護は可能であり、科学的な根拠に基づくと言える。高い周波数で何らかの補正を行う、またはより小さな平均

化面積を設定するのであれば、佐々木構成員の平面波に関する膨大なデータを有効に活用できると考える。

渡邊構成員) ICNIRP ガイドラインが 20cm^2 と 1cm^2 の 2 つの平均化面積を定義しているように、30GHz 以上で同様の考え方を採用することも選択肢としてあるということか。

平田主任) そうすることが妥当と考えている。ただし、ICNIRP ガイドラインでは明示されていないのだが 1cm^2 に 20 倍の電力が収まった、というニュアンスとも考えられるので、その辺りの書き方の検討は必要となる。

渡邊構成員) その場合、仮に 1cm^2 に 20 倍のレベルの電力が集中した場合、隣接する残りの 19cm^2 は 0 でなければならないという理解である。

多氣オブザーバ) 全身と局所の電力密度の許容値について、過去の事例では局所の許容値が緩くなるケースが多いが、今回は同じになる可能性もあるか。

平田主任) まだ十分な情報提供できていないが、ICNIRP の議論と個人的な試算では、局所の方が 2 倍緩和しても大丈夫であろうと考える。6GHz 或いは 10GHz 以上では皮膚表面付近で吸収電力が集中して体内深部温度が上がらないというところまで考慮して国際ガイドラインが定義されるならば、さらにその差が大きくなると思う。ただし、国際ガイドラインのドラフトでもこの点が明示的に議論されていないので、今回の議論には含めず、局所ばく露に関する検討のみとしている。

(4) 議事全体について

本日の議事全体についての議論を行った。主な質疑応答の概要は以下のとおり。

渡邊構成員) 温度の上昇にかかる主な要因として、血流の効果がある。ミリ波は体表に集中して吸収されるので、外気の影響が大きい気がするが、実際には体内深部の影響の方が大きいという理解でよいか。

平田主任) 例えば、風がある、汗をかいているなどの状況がある場合は外気の影響の方が支配的になる。通常の生活においては、何も熱源がなければ既にバランスが取れている状態で熱源が加わることとなる。皮膚は表面付近といえども血流が多い組織であり、やはり血流の影響が一番大きく、外気の影響はかなりばらつきがあるといえる。

渡邊構成員) 初期状態で外気の影響が入っており、その後の影響は限定的と理解した。

佐々木構成員) 外気の影響については NICT のほか、フランスの研究者も検討しており、外気の影響を風の強さのパラメータとして考慮した計算の場合、10~20%程度変化する可能性が示唆されていたが、大きく変動するような結果は得られていない。

多氣オブザーバ) 本作業班での議論は、基本的に非管理環境での数値に対する議論となっている。従来の防護指針やそれ以前の IEEE の議論にしても、まず閾値から管理環境のガイドラインの値を決めて、さらに非管理環境に対して付加的な安全率を加えて安全を担保しようとする発想である。今回、まず非管理環境について議論して、管理環境はそ

こから緩和しているように理解されないか若干懸念している。最近の ICNIRP の議論では一般公衆（非管理環境）がまずありきの議論なのか。

平田主任）そうではない。ICNIRP ではまず Operational Threshold を求めた上で、安全係数を導き、まずは職業環境（管理環境）に関する指針値を定めている。今回は 5G という新たなシステムに対応する必要があるため、一般公衆を対象に議論しているとみられても仕方がない状況がある。今後、指針値の議論で、国際ガイドラインで Operational Threshold に近いものが示されれば、我が国でも同様のアプローチをしていく必要はあると考えている。

渡邊構成員）低い周波数で接触電流のガイドラインがあるが、実は職業環境では閾値がそのままガイドラインのレベルになっている。これは、管理された環境の場合、何か影響があればそこで対応すればよいという考え方に基づいている。このように知覚の影響に関して、職業環境では従来柔軟に考えられてきたところがある。しかし、最近の欧州の EU 指令などでも職業環境に関しても十分な防護が必要との考え方が出ており、ICNIRP や IEEE の議論を注視していく必要がある。

渡邊構成員）資料 9-2 のスライド 5 の回帰直線が面積の 0.5 乗に反比例しているが、通常だと面積に反比例する直線になると思うが、物理的にどう解釈すればよいか。

平田主任）小さいビーム照射における温度上昇に関しては、半径に比例するので合っている。

渡邊構成員）径方向に熱が逃げるので、周長などで効いてくるということか。ただし、Blick らの実験は背中に大きく照射したもので、周波数帯も異なるので、スライド 5 の直線上で比較してよいのか少し疑問である。

平田主任）温度上昇だけ見れば、基本的にスライド 5 の直線状に乗ると思うが、途中から温熱生理等の影響なども受けて、さらに下がる傾向になると考えられる。

西方構成員）Blick らの実験とは実験条件が異なり誤解を招くので、直接比較はしないようにする。

（5）その他

事務局より、次回は 5 月下旬から 6 月上旬を予定している旨連絡があった。

（以 上）