

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 8 回）
議事要旨（案）

1. 日時

平成 30 年 3 月 16 日（金） 10：00～12：00

2. 場所

中央合同庁舎 2 号館地下 2 階 第 1、第 2、第 3 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、上村構成員、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、宮越構成員 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、平野同課課長補佐、宮良移動通信課第二技術係長 他

4. 議事要旨

（1）眼球に関する研究動向について

小島構成員より資料 8-2 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。

渡邊構成員）19 頁のまとめのスライドにある鋭敏な忌避反応とは具体的にどのような反応か。また、具体的にどのようなシミュレーションの実施を想定しているのか。

小島構成員）鋭敏な忌避反応は、まぶたを閉じる、瞬きをするなど、電波の照射を避ける反応である。

渡邊構成員）神経が露出した状態において強い痛みがあるとのことだったが、角膜が剥落する前にも痛みや熱さを感じる可能性があるという理解でよいのか。

小島構成員）その理解でよい。眼は小さなごみが入った程度でも痛みを感じるように、違和感に対して鋭敏な忌避反応がある。また、現状 18-40 GHz までの温度変化のデータがあるので、これを使ってシミュレーションで 6-18 GHz の温度変化に置き換えることで、6 GHz で温度上昇が十分に低いことが明確にできると考えている。

渡邊構成員）眼障害 (DD) の閾値のグラフは入射電力密度だが、これの温度上昇に相当するデータがあるのか。

小島構成員）温度上昇のデータもあるが、温度上昇だけでは障害の有無の判断とはならない。

シミュレーションでは障害が発生する温度まで上昇しないことを確認できれば良い。

渡邊構成員）具体的に何度まで上がると障害が出るのか。

小島構成員）基本的には、42 度程度になると障害が出るのは確実である。ただし、人の場合長時間ドライアイのような状態になり、そこにプラスアルファで電波が照射されると障害が発生しやすくなる。

渡邊構成員）低い周波数では電波の浸透が深くなるので、温度上昇の分布も深部まで入ってくると推測される。3 頁の Rosenthal の実験でも、35 GHz と 107 GHz で影響の出方が違うというデータもあったので、高い周波数での指標が低い周波数でそのまま使えるのかは気になる。

平田主任）眼球の影響に関しては、6 GHz 以上における角膜への影響、それよりも低い周波数帯の白内障への影響を総合的に考える必要があるが、若干データが不足している。

佐々木構成員）平田主任の研究で 2.45 GHz のヒト眼部へのばく露評価（シミュレーション）では眼の障害よりも皮膚の障害の方が先に出るという結果があり、別の動物（サル）を用いた実験でも同様の結果があったと記憶している。18-40 GHz に対する実験で、皮膚の炎症はあったのか。

小島構成員）18-40 GHz 範囲では温度のみ測定しているので、障害の発生状況はわからない。

寺尾構成員）17 頁の眼組織温度の周波数による相違に関して、周波数が上がると温度上昇が大きくなるということだが、眼表面からの距離に対する温度分布は周波数による違いはあるか。

小島構成員）18 GHz と 40 GHz では眼内の温度分布は大きく異なる。ただし、18 頁にあるように眼の中へ浸透深さは 18 GHz と 40 GHz でほぼ同程度となっている。

渡邊構成員）今回はウサギへの検討だが、最終的に人体への影響を検討していく中で、ウサギで得られた障害の閾値は人体に対して過大側なのか過小側なのかご意見を聞きたい。

小島構成員）人とウサギの眼を比べると人の方が眼の前房が深い。シミュレーションでもウサギよりも人の方が眼の温度が上がりにくい結果が出ている。人の眼には忌避反応もあるので、ウサギのデータは常に最悪データとして理解していただいて良い。

渡邊構成員）6 分間ばく露と比較して 30 分間ばく露の方が閾値が下がったが、人の場合 30 分間眼を開け続ける状態を考える必要ないので、6 分間ばく露の閾値のデータを人に外挿して考えるのが合理的であるという理解でよい。

小島構成員）その通りである。

多氣オブザーバ）プロビット解析で 10 パーセンタイル、50 パーセンタイル、90 パーセンタイルが議論されているが、累積正規分布に従って障害が起きるという仮定を置いているということならば、仮定が入っていることを説明した方がよい。前回 10 パーセンタイル値を出すには 10 個以上のデータが必要との意見があったが、モデルが正しければ少数データでも推定を行うことは可能であり、仮定を明確にすることが重要である。

小島構成員）動物愛護の観点で、動物実験では動物の数をできるだけ少なくするよう求めら

れている。ご指摘の通り、統計の部分は注意して説明していく必要がある。

宮越構成員) 細胞研究の観点からみると、6 分間で最大 10 度もの大きい温度上昇があると細胞はかなりダメージを受ける。例えば、一過性であっても HSP (熱ショックタンパク質) の発現が多くなる。小島構成員の研究ではエンドポイントの眼障害を見ているが、細胞研究の観点からは眼障害が発生する間にも様々なこと起きていると考えられる。障害の観点からは 100 mW/cm² を閾値とすることが妥当かもしれないが、別の観点から見るとまだ検討の余地があるのではないか。

小島構成員) 2 頁に示したように、生化学的な指標が何らかを示していたとしても、電波防護指針の考え方では、実際に障害が起きたところを起点に障害と判断する。生化学的なデータも加味しながら、閾値を検討していくべきということか。

宮越構成員) 電離放射線の場合は長期間で出てくる障害について、人間であれば数年、10 年後の影響まで議論している。長期的な影響の場合はエンドポイントに至るまでのプロセスが関係しているので、細胞研究の観点からは他の方法もあると感じた。

小島構成員) 電離放射線は DNA に損傷を与えるため長期間の影響があると思うが、電波の場合は現時点で非熱作用は明らかにされていない。現時点で考えられるのは熱影響であり、これは蓄積するものではない。

宮越構成員) 1 度、2 度の温度変化ならば良いが 10 度の変化になると違ってくる。

小島構成員) 10 度の温度上昇はポジティブコントロールの部分であり、10 頁の 40 GHz のデータで 100 mW/cm² の障害の閾値では表面温度は 37 度程度である。

(2) 皮膚に対する研究動向について

森松構成員より資料 8-3 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。

平田主任) IEEE での議論では、入射電力密度に加えて、SAR のような体内吸収電力量として TPD (Transmitted Power Density) が設定されることが濃厚となっている。ここで TPD の値を示したのは、吸収電力の場合には周波数依存がなく周波数間の比較ができるためである。

佐々木構成員) 3 頁でラットと人の構造の類似点を説明頂いたが、組織厚も類似しているか。

森松構成員) 比率は若干異なるがおおむね類似していると考えてよい。

渡邊構成員) 今回、10 GHz で発生した影響は深達度でⅢ度となっているが、実際の症例として、Ⅰ度、Ⅱ度の熱傷と比較して、Ⅲ度の熱傷はどの程度あるのか。

森松構成員) 臨床では炎による熱傷の症例を多くみるため、表皮は欠損していることが多く、285 mW/cm² のⅢ度の障害と似ている。電波の場合は内部の損傷が先に出る傾向があるようだが、臨床では表皮から損傷していく症例が多い。

渡邊構成員) Ⅰ度の熱傷も障害として防護すべきものか。

森松構成員) 火傷をしていることを問題がないとは言いにくい。肉芽組織、主に細胞を見て

いる観点では、表皮の浮腫もなく細胞の動きも殆どなくなる点がどこかは興味がある。表皮の浮腫も見過ごすことはできないが、浮腫が起きても翌日には回復しているのであれば、急性期のわずかな変化と捉えてもよい。

牛山主任代理) 太陽光の日焼けもⅠ度の熱傷と考えてよいか。

森松構成員) 日焼けも熱傷である。

平田主任) 日焼けでもⅠ度以上になることはあるか。例えばⅡ度の日焼けでも臨床としては可逆性があるということでしょうか。

森松構成員) 日焼けでⅡ度以上になることもある。ステロイド軟膏によって数日で治癒するので可逆性があるといえる。

牛山主任代理) 3日間でラット自身が損傷部分をスクラッチすることはないか。

森松構成員) 写真で記録しているが、そういった影響は見られなかった。

牛山主任代理) ラットの週齢の情報がないが幼若なラットを使った場合の皮膚の構造や厚みと、人間の子供を想定した場合の影響の関係をどのように考えるか。

森松構成員) ラットは8週齢である。皮膚に限らず、動物実験で幼若なラットを用いると反応が大きく出る傾向があることを考慮すると、子供の皮膚において反応が大きく出る可能性もある。一方、皮膚は3日目から再生機能が働いており柔軟性があることも想定される。幼若なラットとの反応の違いは検討が必要と考える。

小島構成員) ばく露時間を18分間とした根拠を教えてください。

森松構成員) 研究室で長年実施してきた知見に基づいて18分間という条件としている。

渡邊構成員) 18分経過すればある程度温度上昇が一定になるという観点もあるだろう。

平田主任) 時定数の観点では6分間程度で約60%であり、森松構成員のご研究では、さらに2~3倍の時間が経過すると約95%に達してほぼ定常状態になるということなので、一定の根拠はあると考える。

宮越構成員) ラット皮膚の場合、皮膚免疫や色素細胞の状況も人と同じと考えてよいのか。

森松構成員) 今回の資料には出していないが、細胞の変化と免疫染色についてはより詳細に研究を進めている。細胞のパラメータが動いているところもあるので、興味をもって研究しているところである。

宮越構成員) 表皮に関しては、細胞、例えばランゲルハンス細胞の状況など、評価指標としては同列に値するものなので、ぜひ今度データを示して頂きたい。

渡邊構成員) 最終的に皮膚の熱傷と電波のガイドラインの関係を考えるときに、障害の閾値を考える必要がある。今回の研究でⅢ度の熱傷の閾値は見えてきたが、逆にⅠ度の熱傷の閾値はⅢ度の熱傷の閾値から推定できるのか、或いは別途検討が必要となるか。ガイドラインは閾値だけでなく時間平均や空間平均のパラメータも重要であり、ばく露時間を長くした場合の検討などは想定しているか。また、熱傷の評価で面積が重要という話があったが、同じ熱傷の深達度でも全身と局所で重症度が違うなどきめ細かいところまで検討する必要があるか。

森松構成員) TPD の閾値に関しては、これまでの実験結果から閾値のある辺りを推測した上で値を設定し実験をした。閾値としては想定内の結果であったが、126 mW/cm²と 215 mW/cm²の間は段階的になると予想していたので、深達度がⅢ度となったのは予想外だった。電波の場合、局所にばく露するものであり、また内部から加熱される点で、炎などの接触による通常の熱傷とは異なる。Ⅰ度の閾値がどの辺りなのかは検討が必要である。ばく露時間は 18 分間で実施してきているので、時間を延ばすことは考えていない。

渡邊構成員) 低温火傷などは別途評価方法を検討する必要があるのか。

森松構成員) 研究では深部体温も測定しているので、局所の温度との相関を示すことも検討していきたい。面積については、熱傷の臨床では重要である。一方、電波の場合ラットの実験の印象では非常に局所だけの障害であり、特に周波数が上がるほどより局所になるので、現時点で面積の検討を行うことは考えていない。

(3) 電磁界強度指針について

日景構成員より資料 8-4 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

平田主任) 我が国において全身平均 SAR に相当する電磁界強度指針は 300 GHz までだが、現在改訂作業中の国際ガイドラインも電波防護指針と同様に上限周波数を拡張する方向の議論がある。

渡邊構成員) 4 頁に WHO では世界統一基準策定の計画はないとあるが、WHO の EMF プロジェクトでは一昨年から国際基本安全基準 (BSS) を作るための議論を始めている。また、全身平均 SAR は各国際ガイドラインで同一とされているが、IEEE と ICNIRP では平均時間の考えが一部異なる。職業環境については同じだが、IEEE は一般環境については 30 分間とより長い時間としており、この点は整合しきれていない。

平田主任) IEEE、ICNIRP とともに全身ばく露の平均時間を 30 分間と長くする傾向にある。元々、小動物の実験データに基づき安全側に設定していたところ、人では温度上昇が緩やかになるため、6 分間ではなく 30 分間とし、電磁界強度が集中した場合に局所吸収指針に相当するガイドラインで防護できるとの議論が昨年 12 月の GLORE 会議でもあった。多気オブザーバ) 6 頁の説明の (3) は ICNIRP の前身の INIRC がこのような説明をしていたことがあるというもので、IEEE 規格にはこの説明はない。

平田主任) ICNIRP に関しても、現状は IEEE 規格と同様に具体的な説明はない。

佐々木構成員) ICNIRP と IEEE がハーモナイズする方向であるということだが、双方が別のアプローチをとった結果、ハーモナイズしているとの理解で良いか。

平田主任) 基本的に ICNIRP と IEEE の間で相談はしていない。あくまでも別組織であり、特に、IEEE は業界も入る組織のため、様々な人が検討した結果となっている。現実的な簡便性のために、可能な場合には IEEE は ICNIRP とハーモナイズすることもあるが、

あくまで元々フィロソフィーが異なる別組織で検討を行った結果、方向性が近寄っている。この理由はデータ数が増えていることにある。例えば、今回ご発表いただいた小島構成員や森松構成員のミリ波帯における閾値に関するデータは過去になかった。こうした先進的な結果を各国際機関で議論した結果、元々安全率は同程度だったため、ほぼ同じ値に終着している。昨年 12 月の GLORE 会議では ICNIRP と IEEE 双方がプレゼンテーションを行い、担当者個人としてだが公の場で意見交換も行っており、知識の共有という点では ICNIRP もオープンになってきている。

- (4) 新世代モバイル通信システム委員会 技術検討作業班における検討状況について
総務省移動通信課宮良係長より資料 8-5 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) 人体防護の観点において、5G ではミリ波帯の電波を使う点でインパクトがある。スケジュール上、まずは今年の 6 月頃に 3GPP でリリース 15 が出て、その後に全ての技術性能要件に対応したリリース 16 が出るということだが、ミリ波帯のキャリアの仕様や条件はリリース 15 の段階である程度で固まっているのか。具体的には、空間的な平均を検討する上で、ミリ波帯のビームフォーミングではどの程度ビームを絞るのか、どの程度の周期でビームを出すのか等のシステムの検討状況が知りたい。5G では 6GHz 以上と 6GHz 以下の周波数帯を同時に使うと理解している。WiGig の人体防護の検討の際に 60 GHz 帯の電波が人体に当たった場合には、通信リンクが切れて瞬時に低い周波数帯に切り替わるためミリ波帯のばく露は非常に限定的だということだった。5G でも同様の仕様が入るのか確認したい。

総務省) 詳細に関しては確認して事務局経由で連絡する。なお、ビームフォーミングに関しては 29 頁の最高伝送速度の算出例に $N_{\text{MIMO}}=8$ とあるように、現在 3GPP で決まっているのは、ダウンリンクでは SU-MIMO で最大 8 レイヤ、MU-MIMO は最大 12 レイヤである。またアップリンクでは、それぞれ 4 レイヤ、12 レイヤである。ビームの周期については別途確認する。

渡邊構成員) アンテナ理論から考えると、素子数が大きいほど鋭いビームが出てくる。素子数が分かればどの程度ビームを絞るのかをある程度推定できるので、可能であれば確認していただきたい。

平田主任) 現状ビームフォーミングは基本的にはダウンリンクが想定されていると思うが、端末側からビームフォーミングをする可能性はあるのか。

総務省) 当面は技術的には厳しいとされており、主にダウンリンクになると考えられるが、標準化上では議論はされている。

事務局) 5G の技術的条件についての委員会報告案にはビームフォーミングの仕様は入るのか。

総務省) 過去の 4 G の技術的条件においてアンテナの詳細な仕様は入っておらず、また現状、5 G の技術的条件の作業班の議論では、ビームフォーミングの時間やアンテナ素子数までの検討は行っておらず、委員会報告には入らないと考えられる。

事務局) 電波防護指針を検討する上で、それらの情報が必須であるということであれば、5 G の技術的条件を検討している作業班に情報提供を依頼することも考えられる。

平田主任) 必須ではないが、情報があればより現実的な防護となっているかを確認しながら進めることができる。例えば、ビームを絞る理論限界まで検討するとなると制限が大きくなる。大体の素子数が分かると、空間の電磁界の平均化面積がどの程度必要かなどのイメージが持ちやすい。可能な範囲で情報を頂ければ有難い。

多氣オブザーバ) 49 頁のパラメータでその他損失 : 4 dB (人体吸収損) とあり、空中線電力 23 dBm の半分以上の電力が人体に吸収されることになるが、ITU の文書には根拠が書かれているのか。端末からの電力がどの程度人体に吸収されるかは人体防護上重要な観点である。おそらく、システムの設計の観点で大きめに見ているのだと思うが、3.7 GHz 帯や 4.5 GHz 帯では 8 dB とあるので気になる。

総務省) 6 GHz 以下の既存周波数帯のその他損失 8 dB は、以前から見込んでいるものである。あくまで共用検討用のパラメータであり、8 dB すべてが人体に吸収されるということではないと思う。端末を手に持った状態で人体による損失を見込んだものと推測するが、ITU の文書の記載を確認する。

(5) 全体を通じた議論

最後に議事全体を通じた議論を行った。主な質疑応答の概要は以下のとおり。

〈小島構成員、森松構成員の説明について〉

平田主任) 本日、小島構成員及び森松構成員からご発表頂いた内容は、指針値を検討する上での重要なデータであると考えます。これらのデータに関して追加で質問あれば頂きたい。

渡邊構成員) 森松構成員のプレゼンテーションの中で、熱傷は面積で重症度が変わるということだったが、例えば熱傷の範囲が掌 1 枚分以上の面積であれば重症と判断するなどの基準があるのか。

森松構成員) 臨床の現場では患者が搬送された際に掌何枚分かでおよそその熱傷の面積を把握している。熱傷が体表面積の 36% 以上を超えると重症と判断する。

渡邊構成員) 今回の結果は入射電力密度と皮膚の障害を関係づけた点でこれまでにない貴重なデータである。電波防護指針の安全性を考える上で、照射時間や照射面積を変えた場合の閾値や重症度の変化の仕方が、電波防護指針のマージンに比べて十分小さいと言えると思う。既存のデータから何か考察ができればよい。Ⅲ度熱傷が起きた 215 mW/cm² の照射時には局所温度が 10 度程度上がっているが、人の場合は皮膚の温度が 10

度上がれば回避行動を行うなど 20 分以上我慢することは考えられない、つまり最悪の状態と考えてよい。

森松構成員) その理解でよい。ばく露時間とばく露面積を増やした検討を行うことは重要だが、今回の研究目的は超急性期ばく露を対象とした評価であり、今後細胞レベルの変化を検討していく方針のため、時間と面積の観点での研究を行うことは難しい。

多氣オブザーバ) 照射条件を TPD の値で示しているが、実際に測定できるのは入射電力密度なので、TPD と併せて記載してほしい。

〈日景構成員及び移動通信課からの説明について〉

多氣オブザーバ) 先日、情報通信技術分科会で本作業班の開始を報告書した際に、分科会の構成員から、実際に使われる周波数を想定して優先的に調査することは想定していないのかという質問があった。ガイドラインの検討は、特定の周波数ではなく対象となる周波数範囲全体で検討すると回答している。ただし、移動通信課からの説明では、5G で 28 GHz 帯が使われることは見えており、一方眼球に関するデータがない 6-18 GHz は 5G の周波数候補には挙がっていないので、まずは 28 GHz 帯が重点的に検討する周波数となるだろう。ガイドラインとしては周波数を特定する必要はないが、実際の利用状況も考慮した上で検討を行うことは必要である。

平田主任) ガイドラインとしては、特定の周波数帯だけで想定すると全体の整合性が取れなくなるので、まずはマクロで考えた上で、生物学的な影響については可能な範囲で利用が想定される周波数帯を含めた結果を示せると良い。動物実験のデータから可能な範囲で閾値を設定して、人に対して安心・安全な指針値を設定していきたいと考えている。現在の進め方について、消費者の視点から気になる点はあるか。

増田構成員) 一般の方が利用するイメージがつきにくい。先ほど、20 分間 43 度を我慢することは考えられないという議論があったが、例えば泥酔状態などでは十分想定されることで、実際に携帯電話が発熱して火傷する例はある。通常の生活の中で想定されるイメージがあるとよいが、現状の議論ではどのように消費者の生活実態に反映されるのか見えにくい。

平田主任) どのようなシステムが出てくるか未知数な中で、可能な範囲で検討を進めているところだが、移動通信課の方で 5G 利用のイメージがわかる情報があれば提供いただき、増田構成員のご意見もふまえ国民に対してわかりやすいデータを提供していきたい。

(6) その他

事務局より、次回については、次回は 4 月 20 日 (金) 午前 10 時からを予定している旨連絡があった。

(以 上)