

## 電磁界と公衆衛生

### レーダと人の健康

レーダシステムは、航空機、船舶、その他の通常は動いている物体の存在、方向、大きさを探知します。高周波電磁界（EMF）のパルスを送ることによって探知がなされます。60年ほど前に発明されて以来、レーダシステムは航海、航空、国家防衛、気象予報など広く使われてきました。このシステムの主な目的は個人や集団の安全および防護です。

レーダの周辺に住む人々やそこで日常的に働く人々は、がん、生殖機能障害、白内障、小児の行動や発育の変化などレーダシステムによる健康への有害な長期的影響について懸念を示しています。最近の例としては、速度取り締まり用の手持型レーダガンを使用する警察官で精巣がんが増加するらしいと言われたことがありました。

レーダがもたらす危険について、認知している危険と実際の危険を区別すること、および現行の国際基準や今日使われている防護対策の根拠を理解することが重要です。

**電磁界放射**：レーダは通常 300 メガヘルツから 15 ギガヘルツの間の無線周波数（RF）で動作し、RF 電磁界と呼ばれる電磁界を発生します。電磁界スペクトルのこの範囲にある RF 電磁界は人体と様々に相互作用することがわかっています。

**10 ギガヘルツ以下**（1 メガヘルツまで）の RF 電磁界は、ばく露された組織に浸透し**エネルギー吸収**による**熱**を生じます。浸透の深さは周波数によって変わり、周波数が低い方が深くなります。組織における RF 電磁界の**吸収**は、ある一定の組織塊での**比吸収率**（specific absorption rate :SAR）で測定されます。SARの単位はキログラム当たりのワット(W/kg)です。SARは、約 1 メガヘルツから 10 ギガヘルツの間の RF 電磁界の「ばく露量」を測るために使われる物理量です。

- この周波数範囲の RF 電磁界にばく露された人々に、これまででわかっている健康への有害な影響を生じさせるには少なくとも 4 W/kg の SAR が必要です。

**10 ギガヘルツを超える** RF 電磁界は皮膚の表面で吸収され、その下の組織に浸透するエネルギーはごくわずかです。**10 ギガヘルツを超える** RF 電磁界のばく露測定の基本的な物理量は**電力密度**として測定される**電磁界の強さ**です。電力密度は平方メートル当たりのワット (W/m<sup>2</sup>) または弱い RF 電磁界の場合、平方メートル当たりのミリワット(mW/m<sup>2</sup>) やマイクロワット(μW/m<sup>2</sup>) ので表されます。

- **10 ギガヘルツを超える** RF 電磁界への 1000 W/m<sup>2</sup> 以上の電力密度のばく露は、眼球の白内障や皮膚の熱傷など有害な健康影響を及ぼすことがわかっています。

**人体ばく露**：レーダシステムの放射電力は、数ミリワット（警察の速度取り締まりレーダ）から何キロワットのもの（宇宙用追跡レーダ）まで様々です。しかし、レーダシステムからの RF 電磁界への人体ばく露は、多くの要因によって大幅に（少なくとも 100 分の 1 になることも多い）小さくなります。

- レーダシステムは、非連続的にパルスとして電磁波を送信します。このため平均放射電力は電力パルスのピーク値よりかなり低くなります。
- レーダには方向性があります。また発生した RF エネルギーは非常に細い、スポットライトの光線のようなビームの中に封じ込められます。メインビームから離れると RF レベルは急速に弱まります。ほとんどの場合、メインビームより**数千分の 1 の低い**レベルです。
- 多くのレーダにはアンテナがあり、それらは間断なく、回転や前後に傾く動きによる仰角の変化をさせながら、ビームの方向を常に変えています。
- 危険な人体ばく露が起り得る区域への許可のない立入りは禁止されています。

**レーダの発生源**：日常生活でよく目にするレーダの種類には以下のものがあります。

**航空管制レーダ**は、航空機の位置の追跡、空港での着陸管制に使われています。それらは一般的に通常、ビームが地上の人には届かないような仰角で設置されています。典型的な航空管制レーダは 100 kW またはそれ以上のピーク電力であることもありますが、平均電力は数百ワット程度です。通常の動作条件下では、これらのシステムが一般の人々に対してハザード（傷害）を与えることはありません。

**気象レーダ**は、空港のはずれに航空管制レーダと一緒に設置されることがよくあります。航空管制レーダより周波数は高いですが、平均電力やピーク電力は一般には低いです。航空管制レーダと同じく、通常の動作条件下では、これらのシステムが一般の人々に対してハザードを与えることはありません。

**軍用レーダ**は、数も多く、種類も豊富です。大きなピーク電力（1 MW またはそれ以上）と平均電力（kW）をもつ大規模設備から、典型的には航空機に装備される小型の射撃統制レーダまで多様です。大型レーダは、その周辺住民に関心を引き起こします。しかし、広い表面から電力が放射されるため、レーダシステムに関連した電力密度は敷地の境界の内側で 10 から 100 W/m<sup>2</sup> 間で変化します。境界の外側の RF 電磁界レベルは精巧な測定器以外では測定不能なほど低いものです。しかし、航空機に装備されている小型の射撃統制レーダは地上の軍人にとって危険となるかもしれません。これらの装置は比較的高い平均電力(kW)をもち、アンテナの面積も小さいので、最大 10 kW/m<sup>2</sup> の電力密度を有することが可能です。このレーダの地上テスト中、全ての軍人はテスト区域への立入を禁止されるため、一般の人々がこのような放射にばく露されることはありません。この他に以下に述べられる種類のレーダのほとんどを軍用としても使用します。

**海洋レーダ**は、小型のプレジャーボートから大型の海洋船舶までに装備されています。これらシステムのピーク電力は 30 kW にまで達することがあり、平均電力は 1 から 25 W です。通常の動作条件下で、かつアンテナが回転していれば、比較的高い電力のシステムでもアンテナの 1 メートル以内の平均電力密度は 10 W/m<sup>2</sup> 以下です。ほとんどの船舶が立ち入る可能性のある区域では、このレベルは現行の RF 電磁界の公衆ばく露基準値の数パーセントにまで低下します。

**自動車速度取り締まりレーダ**は、多くの国で警察官が手で保持しています。平均出力（電力）は非常に低く、数ミリワットですので、身体のごく近くで使用した時でさえ、この装置が健康にとって危険があるとは考えられていません。

**健康影響の可能性**：今日までに行われた研究の大半は、がん以外の健康影響を調べています。それらは生理学的反応や体温調節反応、行動変化、比較的高レベルの RF 電磁界への急性ばく露後に誘導される水晶体の濁り（白内障）や生殖への有害な影響などを調査しています。その他には、測定され得る程度の温度上昇は伴わない非熱作用を報告した研究もある程度数あります。

**がん関連研究**：多くの疫学研究は、RF 電磁界へのばく露とがんの過剰リスクとが関連する可能性の調査を取り扱いました。しかし、研究のデザインおよび実施方法の違いがあるため、それらの研究結果の解釈は困難です。かなりの数の国内レベル、国際レベルの文献レビューグループの結論は、RF 電磁界へのばく露とがんの過剰リスクとの関連性を示す明確な証拠はないというものです。また WHO も、RF へのばく露が人の寿命を短くすること、または RF 電磁界ががんの誘発因子または促進因子であることを示す説得力のある科学的証拠はないとの結論を出しています。ただし一層の研究が求められます。

**熱作用**：RF 電磁界について動物（霊長類を含む）実験で研究が行われました。RF 電磁界レベルの上昇とともに動物にみられる健康影響として最初に表れるのは、忍耐力減少、RF 電磁界に対する嫌悪感、精神的作業の遂行能力低下です。またこれらの研究は、身体組織の温度が 1°C 以上上昇するような RF 電磁界への全身ばく露または局所的ばく露を受けた人に有害な影響が生じ得ることを示しています。このような可能性のある影響としては、白内障の誘発、および体温上昇につれて見られる様々な生理学的反応と体温調節反応があります。これらの影響は十分に確立されているため、RF 電磁界への職業的ばく露および公衆ばく露を制限する科学的な根拠となっています。

**非熱作用**：熱が発生しないレベル（すなわち、非常に低い SAR 値）の RF 電磁界へのばく露は、細胞の情報伝達に重要な関わりをもつカルシウムイオンの移動を変化させるという報告がいくつかの研究グループから出されました。しかし、これらの影響は十分に確立されていないため、人体ばく露を制限する根拠となりません。

**RF パルス電磁界**：レーダに用いられるものと同様の、非常に強いパルス状の RF 電磁界へのばく露は、覚醒時のマウスの驚愕反応を抑制し、体動を促すと報告されています。加えて、正常な聴力の人は約 200 メガヘルツから 6.5 ギガヘルツの周波数の RF パルス電磁界を感知します。これを**マイクロ波ヒアリング効果**といいます。聞こえる音は、RF パルスの特性によって、ザーザー、カチカチ、シューシュー、ポンポンなどと表現されています。長時間のばく露や繰り返しのばく露はストレスを生じるかも知れず、できる限りの回避が望ましいでしょう。

**RF による感電や熱傷**：100 メガヘルツ以下の周波数では、レーダ付近にある金属製物体の表面に誘導された電荷によって熱傷や感電が起きる可能性があります。RF 電磁界中に立っている人は、足首のような小さな断面積の身体部位で RF 電磁界の局所的吸収が高まる場合があります。一般的には、近年のレーダシステムは狭いビーム幅を組み合わせ、これより高い周波数で動作しているため、そのような影響の可能性は非常に小さなものです。

**電磁干渉**：レーダは他の電子機器と電磁干渉を起こすことがあります。多くの場合、このような影響の閾値は RF 電磁界への人体ばく露の指針レベルを十分に下回ります。加えて、レーダは心臓ペースメーカーや補聴器など特定の医療機器とも干渉を起こすことがあります。そのよ

うな機器を装着した人がレーダシステムに**接近した場所**で作業している場合は、その製品が電磁干渉をどの程度受ける可能性があるかについて製造者に問い合わせるのが望ましいでしょう。

**引火性液体および爆発物の発火**：RF 電磁界は、電流の誘導によって引火性液体や爆発物を発火させることがあります。このようなことは滅多に起きませんし、通常は軍艦上のように多くのレーダが集中している場所で最も重大な問題となりますが、その防止対策は行われています。

**国際基準**：RF 電磁界ばく露の制限値は、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) のような国際組織によって策定されます。ICNIRP は WHO によって公式に承認された非政府組織です。ICNIRP は、WHO との連携で作成した健康リスク評価を用いて、ばく露制限に関する独自のガイドラインを草案します。ICNIRP のガイドラインは、**確立された全ての RF 電磁界の健康影響を防護するものであり、がんおよび非熱作用に関する報告を含む全ての査読された科学文献をレビューした上で策定されます。**一般公衆が通常に立ち入る可能性のある区域におけるレーダからの RF 電磁界の環境中レベルは、ICNIRP のガイドラインで許容される連続的な公衆ばく露の制限値を少なくとも 1000 倍は下回り、既知の健康影響を起こす最も低いレベルとして確立されているばく露レベルを 25,000 倍下回ります。

**防護措置**：防護措置の目的は、RF 電磁界への人体ばく露を取り除くこと、または許容制限値以下にまで低減することです。効果的な防護措置と一体化した、測定調査とハザードに関するコミュニケーションに関する広範なプログラムが全てのレーダ設備の周辺地域に必要です。ほとんどの国では、レーダシステムの建設に先だって、環境影響評価書を含めた包括的な文書が作成されます。

レーダ施設の建設後は、その地区の RF 電磁界レベルを定量化するために現地調査が行われることとなります。レーダに向けた最前面では極めて高い RF 電磁界レベルが測定されますが、公共区域でのレベルはほとんどの場合、容易には測定ができないほど低いものです。RF 電磁界レベルが制限値を上回る区域へ労働者や公衆が立ち入らないようにするために、技術的および管理的な制御が行われます。

- 技術的制御には、インターロック、特定の場所にレーダが向くことを避けるための電子工学的な方法、遮蔽があります。
- 管理的制御には、聴覚・視覚的な警報、警告標識、柵による立ち入り制限、施錠された扉、レーダへの接近時間の制限があります。

技術的、管理的制御が十分でない場合、ばく露基準のコンプライアンスを確保するために、作業者は個人用防護用具を用いることとなります。導電性スーツ、手袋、安全靴、その他の RF 電磁界に対する個人用防護用具が商品化されており、入手可能です。

- この防護用具に使われている材料の減衰特性は周波数によって大幅に変化するため、十分に配慮してそれら用具を使用しましょう。問題になっている周波数におけるその用具の減衰特性を知って初めてその用具は信頼して利用できます。
- 金属は受信アンテナとなって局所的に RF 電磁界を増強させる恐れがあるため、RF 用安全メガネには特に注意を払いましょう。
- レーダからの RF 電磁界に対して、一般の人が防護用具の使用を必要とするようなばく露状況はありません。

- 近年、RF 電磁界の遮蔽特性があるとする衣服や物品が、妊婦など一般市民の中で「敏感な」人々向けに消費者市場に出現しています。この類の製品を使用することは必要ありませんし、やめさせるのがよいでしょう。それらは有効な RF 電磁界遮蔽効果を示しませんし、またこのような用具の必要性はありません。

レーダシステムから放射される電磁界への人体ばく露は、現在の科学的証拠に基づき採択された国際基準および防護対策によって制限されています。概要は以下の通りです。

- RF 電磁界は、身体組織の分子を振動させ、熱を発生させます。レーダのアンテナに向いた最前面に長時間留まれば熱作用が起きると思われますが、レーダシステムからの RF 電磁界の環境レベルではそのようなことは起こり得ません。
- 何らかの健康への有害な影響を起こすためには、閾値を上回る RF 電磁界ばく露がなくはなりません。身体組織の温度を少なくとも 1℃上昇させるようなばく露が、その閾値であることが分かっています。環境中のレーダシステムからの非常に低い RF 電磁界レベルでは、いかなる意味のある温度上昇も起き得ません。
- 今日まで、閾値以下の RF 電磁界に何回もばく露されることにより健康への有害な影響が生じることを示す証拠は見出されていません。低いレベルの RF 電磁界に繰り返しばく露されることにより身体組織に損傷が蓄積されることはありません。
- 現時点では、国際基準の制限値以下の RF 電磁界レベルにばく露された人のがんを含む健康への有害な影響が起き得るとい実質的な証拠はありません。ただし、知識の欠落している部分を埋めるために一層の研究が求められます。

(本文終わり)

(翻訳について)

Fact Sheet の日本語訳は、WHO から正式の承認を得て、電磁界情報センターの大久保千代次が原文にできるだけ忠実に作成いたしました。文意は原文が優先されますので、日本語訳における不明な箇所等につきましては原文でご確認下さい。(2011 年 5 月)