

環境計測研究 グループの活動

環境計測研究グループでは、健康障害発症の原因となる「化学物質や粉じん等の有害因子」や「物理的リスク因子」の測定・評価・予測に関する研究、及びこれらの成果を現場に適用するための応用技術の開発を行っています。

化学物質・粉 じん等の有害 因子に関する 研究

作業環境中の化学物質や粉じん等の有害因子に関しては、主に有害物質の新しい測定・分析方法の開発を行っています。

作業環境中にはさまざまな有害物質が存在します。

その中で、ある有害物質Aがどのくらいの量存在するのかわかるために、混在する物質からAを選択的に効率よく分離し、高い精度で測定する分析方法が常に求められています。

化学物質の分析（1）

特定化学物質およびその類似化合物の測定法に関する基礎研究

①誘導体化による芳香族アミンの高選択的・高感度分析法の開発

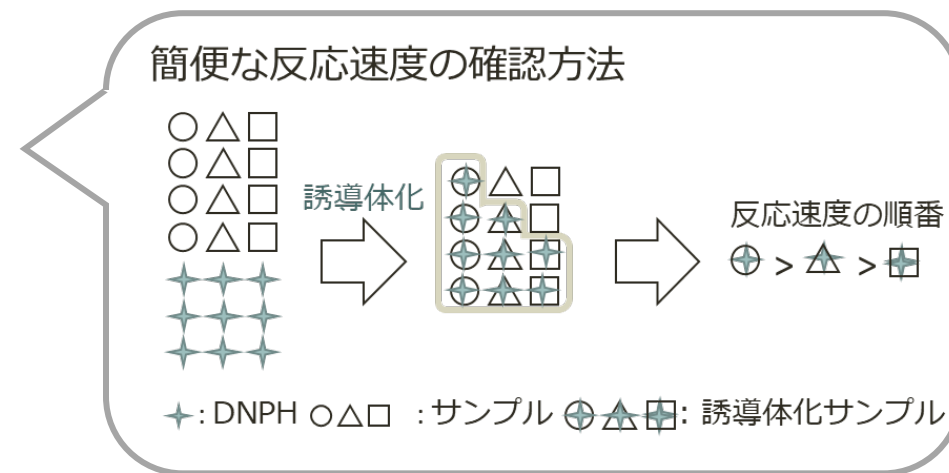
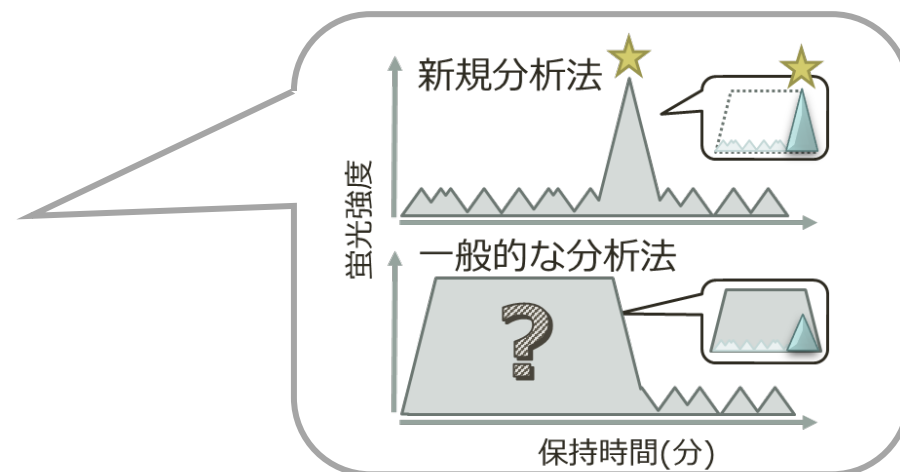
芳香族アミン類は、染料、樹脂や薬品などの原料として様々な産業で利用されていますが、その中には発がん性が懸念されるものがあります。本研究では、この芳香族アミンに蛍光を発する物質を水溶液中で反応させ（誘導体化）、他の物質が混在していても比較的安価な検出器で芳香族アミンを高精度・高感度で分析可能な方法を開発しました。

そのほか、次ページの②～④の研究も行っています。

特定化学物質およびその類似化合物の測定法に関する基礎研究

□ 研究テーマ

- ① 誘導体化による芳香族アミンの高選択的・高感度分析法の開発^{1,2}
- ② 作業環境の測定における芳香族アミンの安定性に関する研究³
- ③ 誘導体化反応により有害物質を捕集するパッシブサンプラーの共存物質による問題点と複数物質同時測定の可能性評価方法の検討^{4,5}
- ④ 作業環境測定試料分析の自動化を視野に入れた固相抽出法の高精度化の検討



[1] N. Inoue (2017) Anal. Sci., 33, 1375-1380. [2] N. Inoue (2018) J. Sep. Sci., 41, 4355-4362. [3] N. Inoue (2017) J. Anal. Chem., 72, 986-991. [4] N. Inoue, M. Takaya (2019) Anal. Methods, 11, 2785-2789. [5] N. Inoue, M. Takaya (2022) J. Occup. Health, 64, e12333.

化学物質の分析（2）

作業環境中化学物質のリアルタイム分析のためのイオン移動度分析装置の開発

有害化学物質によっては作業従事者の短時間ばく露、特定作業中の高濃度ばく露などをリアルタイムで知る必要があります。

公定法で現在使用されている分析装置GC-MSは精度・感度は良いですが、時間が非常にかかります。

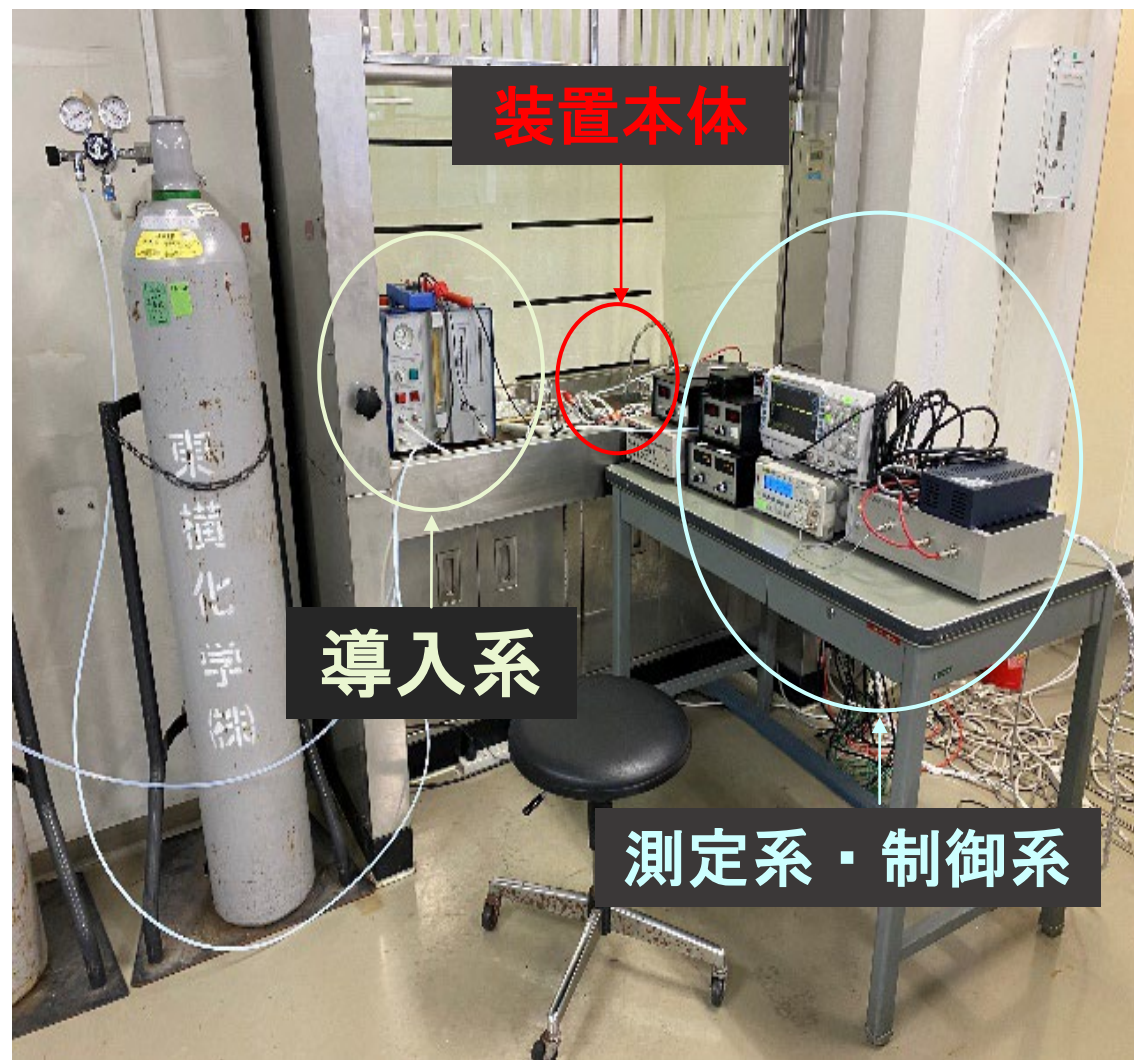
また、光イオン化検出器（PID）も使用されていますが、リアルタイム分析が可能である一方で、個別の化学物質分析では精度が低いことが問題点として挙げられます。

そこで本研究では、作業環境中の個別の化学物質をリアルタイムかつ高精度で分析できるイオン移動度分析装置を開発しました。

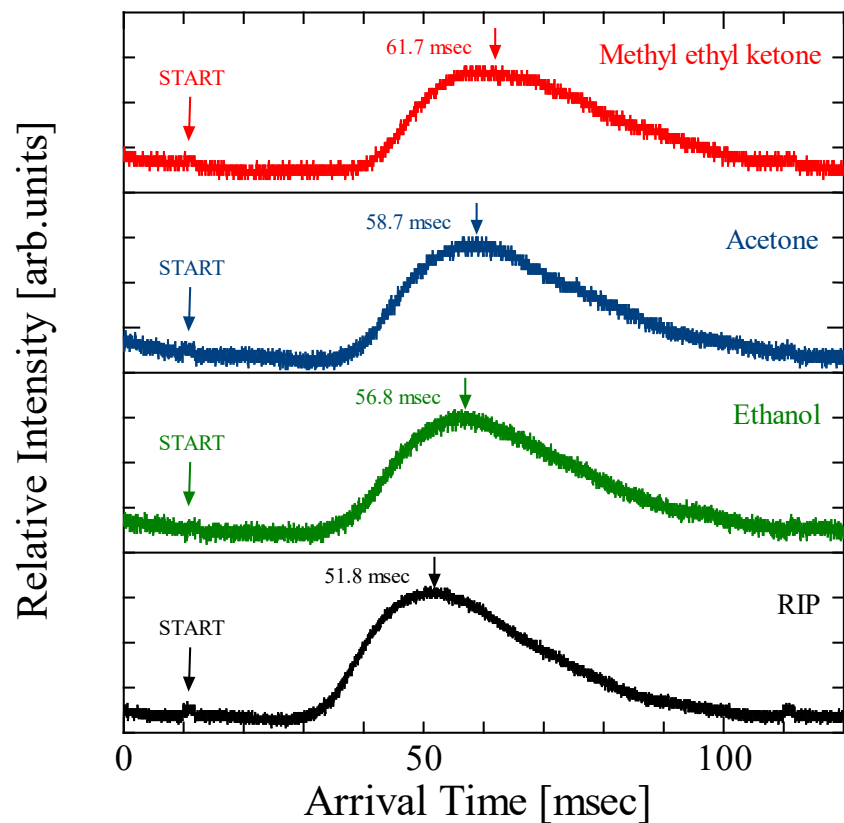
本研究で開発した

イオン移動度分析装置

この装置は質量分析計とは異なり、大気圧中での動作が可能です。さらに可搬型なので計測現場へ持ち込み、リアルタイムに作業環境中の化学物質測定を行うことができます。



イオン移動度分析装置の全体図



メチルエチルケトン, アセトン,
エタノールの到着時間スペクトル

RIP (Reaction Ion Peak) : $(\text{H}_2\text{O})_n\text{H}^+$

Background Peak

左の図は作業環境中に存在する化学物質を本装置で測定した結果です。

図からわかるように化学物質によってスペクトルのピークがシフトしています。

本測定は全て1分間で行ったものであり、作業環境中の個別の化学物質をリアルタイムで分析可能であることを示しています。

化学物質の分析 (3)

有機溶剤蒸気の除毒剤・捕集剤に関する研究

有機溶剤を使用する作業現場では、その環境中の有機溶剤の濃度を正確に測定し、必要に応じて呼吸保護具（防毒マスク）を使用することが健康障害予防のために必要です。

そこで、当研究所では作業現場で用いられる防毒マスクに使用される除毒剤や、作業環境測定でのガスサンプラーに使用される捕集剤に関する詳しい性能の評価と、それらの効果的な利用のための研究を進めています。

また、除毒剤・捕集剤として多く利用されている活性炭やシリカゲルなどの吸着材料について、細孔発達分布状態をはじめとする物理的性質や、おもに原料に起因する化学的性質が性能に及ぼす影響についての研究もあわせて進めています。

呼吸保護具

各種の呼吸保護具



吸収缶外観



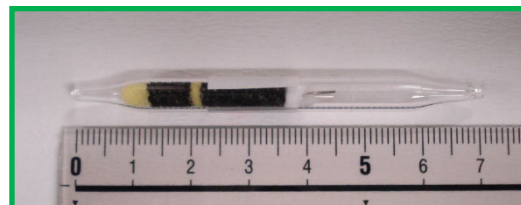
吸収缶内部
(活性炭)



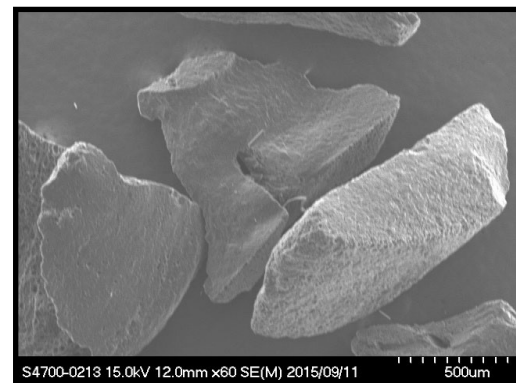
作業環境測定
(有機ガス) 用機材



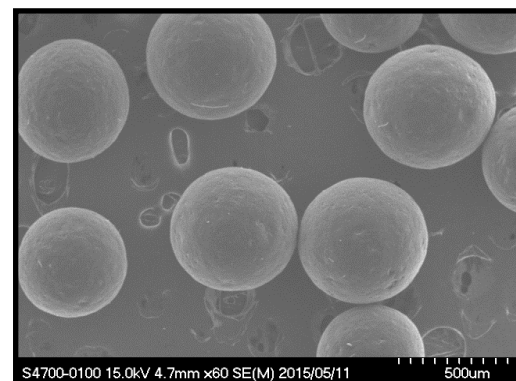
捕集管



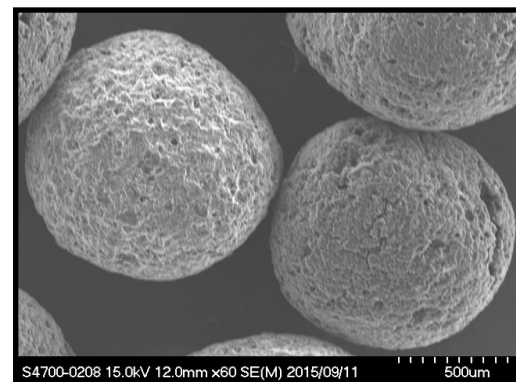
3種類の活性炭の電子顕微鏡写真



椰子殻活性炭



石油系球状活性炭



椰子殻活性炭を
原料とした
球状成形活性炭

粉じんの分析

赤外法による粉じん中の遊離けい酸の分析

じん肺など健康障害の起因物質である粉じんの評価方法には、国の定める管理濃度（E）と、日本産業衛生学会による勧告値である許容濃度があります。

管理濃度（E）は、表の赤点線枠内の式により定義され、その値はその粉じん中に含まれる遊離けい酸含有率Qにより決まります。

したがって、管理濃度（E）を得るには、作業場で採取した粉じんの中に含まれる遊離けい酸量の正確な測定が必須です。

粉じんの評価方法

	管理濃度(E) (厚生労働大臣による告示値)	許容濃度 (日本産業衛生学会による勧告値)
評価対象	作業場の環境濃度	作業者のばく露濃度
測定法	作業環境測定	個人サンプラーによるばく露濃度測定
目的	局所排気装置や作業方法の改善等の 必要性もしくは良否を判定	ばく露による作業者の健康障害リスクを判 定
法的順守義務	有	無
	$E = 3.0 / (1.19 Q + 1) \text{ [mg/m}^3\text{]} *$ (Q: 遊離けい酸含有率)	(結晶質シリカ) 0.03 [mg/m ³] *
		第1種: 0.5 * または 2 ** [mg/m ³]
		第2種: 1 * または 4 ** [mg/m ³]
		第3種: 2 * または 8 ** [mg/m ³]

* 吸入性粉じん ** 総粉じん

遊離けい酸とは? : 珪素が酸素と三次元的に結合し、他の元素とは化学的に結合していない状態の鉱物で、石英、クリストバライト、トリジマイトなどがあります。「結晶質シリカ」とほぼ同義で、現在、IARC group 1 に指定されています。

赤外分光分析装置の有用性を評価

現在、粉じん中の遊離けい酸の含有率の測定は、作業環境測定基準第2条の2により、「**エックス線回折分析方法** 又は **重量分析方法** によらなければならない」とされています。

しかしながら、エックス線回折分析方法には高コスト、低精度、被爆の危険、比較的多くのサンプル量が必要であり、重量分析方法には精度が低くコストが高いといった難点があります。

そこでX線回折装置よりも小型で扱いやすく、比較的価格も安い**赤外分光分析装置**による分析について検討しました。その結果、**X線装置より高精度、低コスト、安全、かつ少ないサンプル量で測定が可能という結果を得ました。**



一般的な赤外分光分析装置

物理的リスク因子 に関する研究

振動、騒音（特に低周波音）、暑熱、非電離放射線等の物理的リスク因子に関しては、これらが心身に及ぼす影響を明らかにするとともに、これらの因子のばく露による職業性疾病の予防策と、各種保護具の開発や性能評価に関する研究も行っています。

物理的リスク因子に関する研究（1）

振動ばく露が人体に及ぼす影響

人体が振動を長期的かつ断続的にばく露することにより、さまざまな悪影響が人体に生じることが知られています。

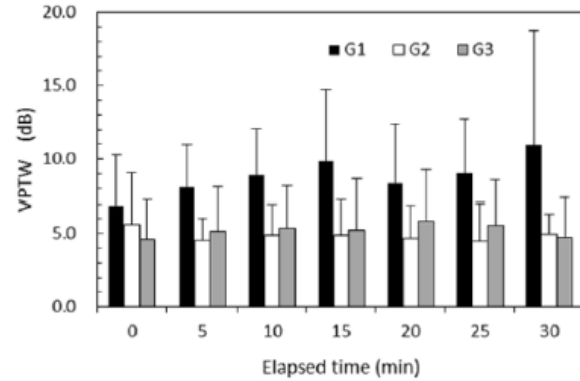
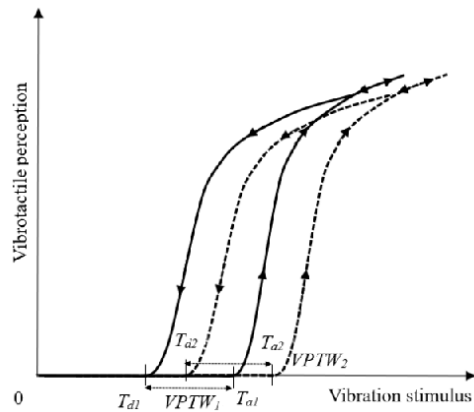
例えば手に長期的かつ断続的に振動を受ける（手腕振動といいます）場合、振動障害という病気を発症することが知られており、座った姿勢などで全身に振動を受ける（全身振動といいます）場合、腰痛の悪化などが代表例としてあげられます。

振動実験施設では、これまで

- ①許容可能な振動の強さと時間の検討
- ②作業姿勢と振動ばく露量の関係
- ③体に伝わる振動を弱める保護具の開発
- ④振動障害を未然に防ぐためのばく露指標の開発

に関する研究を行うとともに、これらに関連したISO規格・JIS規格の制定・改定へ貢献しています。

手腕振動に関する研究への取り組み



振動障害予備群早期発見のための指標の開発

振動障害は、振動ばく露の影響が数年から数十年累積されることにより、指先の痛み・しびれや感覚の鈍麻、血行の阻害（指先が白くなります）といった形であらわれます。残念ながら、従来の健診等で行われる検査方法等では振動障害予備群を早期に発見することができませんでした。安衛研では、指先振動感覚閾値の測定をもとに、環境条件や個人差の影響を受けにくい普遍的な指標VPTWを見出すことに成功しました。この指標は、今後振動要害予備群を早期に発見する指標として期待されます。

メーカーとの共同による防振手袋の開発・性能評価

高性能な振動軽減性能をもつ防振手袋を開発するためには、試作品の振動軽減性能を測定・評価することが必要になります。安衛研の振動測定・評価の技術を防振手袋の開発メーカーに供与することにより、防振手袋の性能評価を定めたISO規格ISO10819およびJIS規格JIS T8114に適合する防振手袋の開発に貢献しています。



物理的リスク因子に関する研究（2）

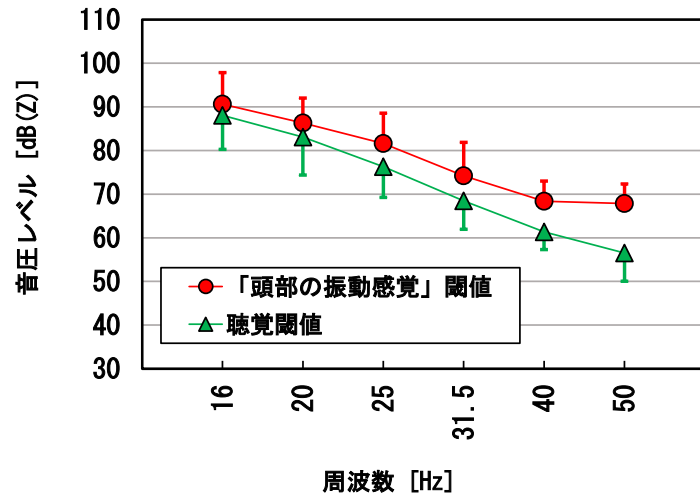
低周波音の影響に関する研究

周波数が概ね100 Hz以下の音を「低周波音」と言います。

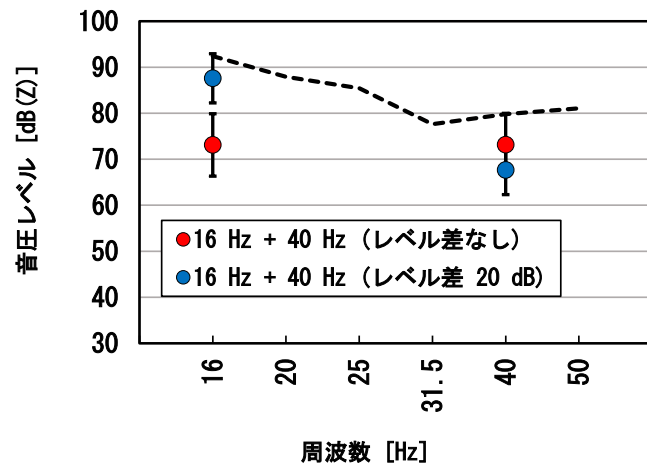
低周波音に対する人の聴覚感度は鈍いため、低周波音が大きな音として感じられることは少なく、結果として聴力への影響はほとんどありません。しかし一方で、低周波音には振動感を生じさせるという特徴があり、それが不快感の一因になっている可能性があります。

当研究所では特に振動感覚に着目して、低周波音による影響の研究に取り組んでいます。

低周波音の影響に関する研究



[Takahashi: J Low Freq Noise Vib Active Control, Vol. 32, No. 1-2 (2013)より]



[Takahashi: Proc Inter-Noise 2012, Paper number in12_886 (2012)より]

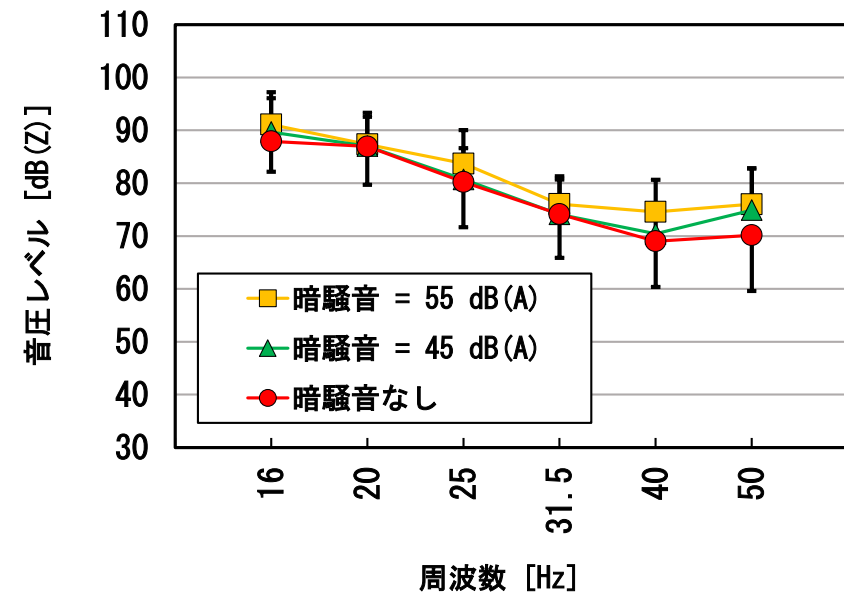
上のグラフは、**低周波域の純音による「頭部の振動感覚」 閾値**を調べた結果です。低周波音による振動感覚は頭部で知覚されやすいので、その閾値を調べました。その結果、「頭部の振動感覚」 閾値は、聴覚閾値よりも数~10 dB以上も高いことが分かりました。このことから、振動感覚の誘起は低周波音の特徴ですが、基本的には低周波音も聴覚で知覚されると考えられます。

下のグラフは、**低周波域の複合音による「頭部の振動感覚」 閾値**を調べた例です。16 Hzと40 Hzの純音を組合せた複合音（両者のレベル差なしと、レベル差が20 dBの2通り）による閾値を純音での閾値（グラフの点線）と比較した結果、複合音になると、純音の場合よりも閾値が下がることが分かりました。この結果から、複合音が一般的である環境中での低周波音による振動感覚は、従来の純音を用いた実験室実験で得られた結果よりも、より低いレベルで知覚されやすくなると考えられます。

低周波音の影響に関する研究（続き）

さらに右のグラフは、**可聴域の暗騒音によって振動感覚の閾値が影響されるかどうか**を調べた結果です。ここでは、45 dB(A)と55 dB(A)のホワイトノイズを暗騒音として使用しましたが、「頭部の振動感覚」閾値は、これらの暗騒音の影響をほとんど受けませんでした。暗騒音がある環境では聴覚によって低周波音を知覚することは難しくなりますが、低周波音の音圧レベルが振動感覚を生じさせるレベルであれば、振動感覚を知覚して、その影響を受けられる可能性があります。つまり、聴覚による音の影響に対して、振動感覚による影響が付加されて不快感が増大する可能性があるということです。

これらはまだ基礎的な研究成果であって、実用的な評価基準ではありませんが、将来的には、振動感覚の影響も考慮した低周波音の影響評価方法の確立に結び付けたいと考えています。



[高橋：日本騒音制御工学会平成27(2015)年春季研究
発表会講演論文集 (2015)より]

これらの他にも、

- ・低周波音によって人体に誘起される振動と振動感覚の関係についての研究
- ・振動の効果を考慮した、高レベル低周波音の評価方法の研究
- ・低周波音によって生じる振動感覚と不快感の関係に関する研究

などを実施。

物理的リスク因子に関する研究 (3)

暑熱 1

暑熱環境評価方法の検討：
WBGT測定器の測定精度に関する研究

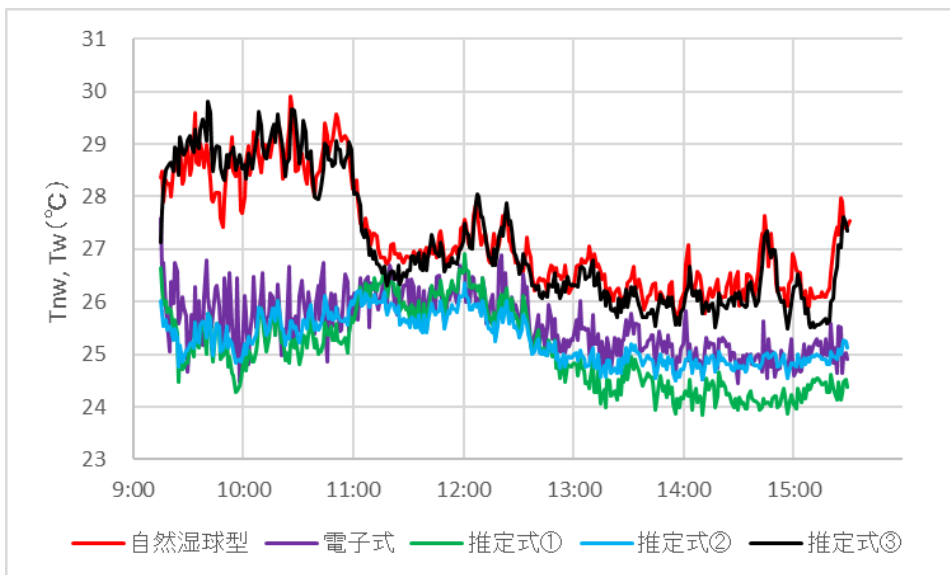
- 電子式WBGT指数計の測定精度向上方法の検討
- 電子式WBGT指数計に関するJIS規格 (JIS B 7922) の制定ならびに改正に貢献

熱中症防止のための暑熱環境評価方法として、WBGT (湿球黒球温度) が広く使われています。

これは、元々は自然湿球 (濡れたガーゼに覆われた温度計) を用いた測定によって得られる指標ですが、この方法による測定器は高価であり、扱いが難しいため、湿度センサーに置き換えた電子式WBGT指数計が主流となっています。



様々なWBGT測定器の併行測定による測定精度の検証実験



電子式WBGTの測定精度向上方法の検討
(自然湿球温度の推定式の比較)

電子式WBGT測定器では、測定方法の差異に基づく測定精度をいかに担保するかが問題となっています。

そこで、写真のように同一条件下で自然湿球型の機器と、種々の電子式WBGT測定器での併行測定を行った結果、機器の種類によって精度のばらつきがあることがわかりました（左図）。

そうした結果も取り入れたJIS規格（JIS B 7922）の改正版が、近々発行される予定であり、当研究所の研究者もこの規格の制定に多大な貢献をしています。

屋外作業における暑熱軽減手法の検討：ミストファンを用いたWBGT低減対策の検討



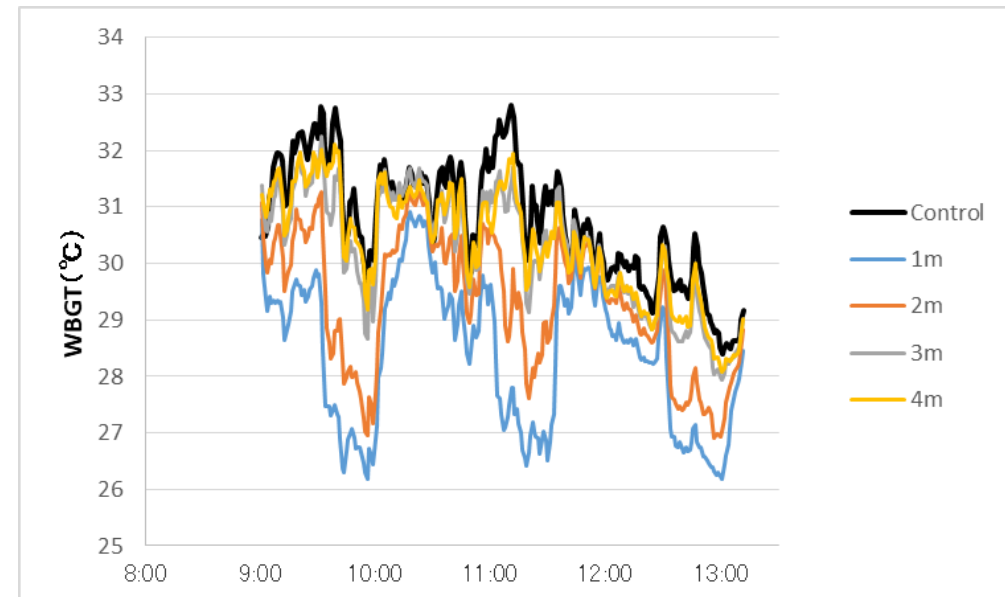
現場におけるミストファンの活用

夏の屋外作業では、暑熱環境の厳しさをどのように軽減するかが問題となりますが、その一つの方法として考えられるのが、ミストファン（ミスト付き扇風機）の活用です。

この効果がどのくらいあるのかについての検討を行った結果、**ミストファンから1~2mの位置でWBGT値の低減効果が認められました。**



ミストファンによる暑熱軽減の検討実験



ミストファンからの距離とWBGT値の比較

物理的リスク因子に関する研究 (3)

暑熱 2

熱中症発症の地域差

熱中症は夏季に発症しますが、その発症状況には地域差があります。

日本全国の夏季の熱中症救急搬送者数を調べたところ、夏季の暑さが厳しい中国、四国、九州地方では熱中症発症数が多くなっていました（次ページ図1）。

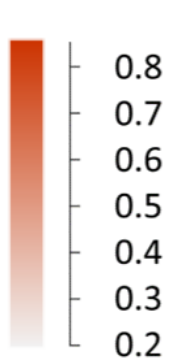
しかし、同じ日最高気温WBGT30°Cを仮定した場合は、夏季における日最高気温が低い北海道や東北地方は、高い関東以南の地域よりも熱中症発症数が多くなると予測されました（次ページ図2）。

これらの結果から、**熱中症の環境基準を設定する場合は、地域差も考慮に入れる必要がある**と考えられます。

熱中症発症の地域差

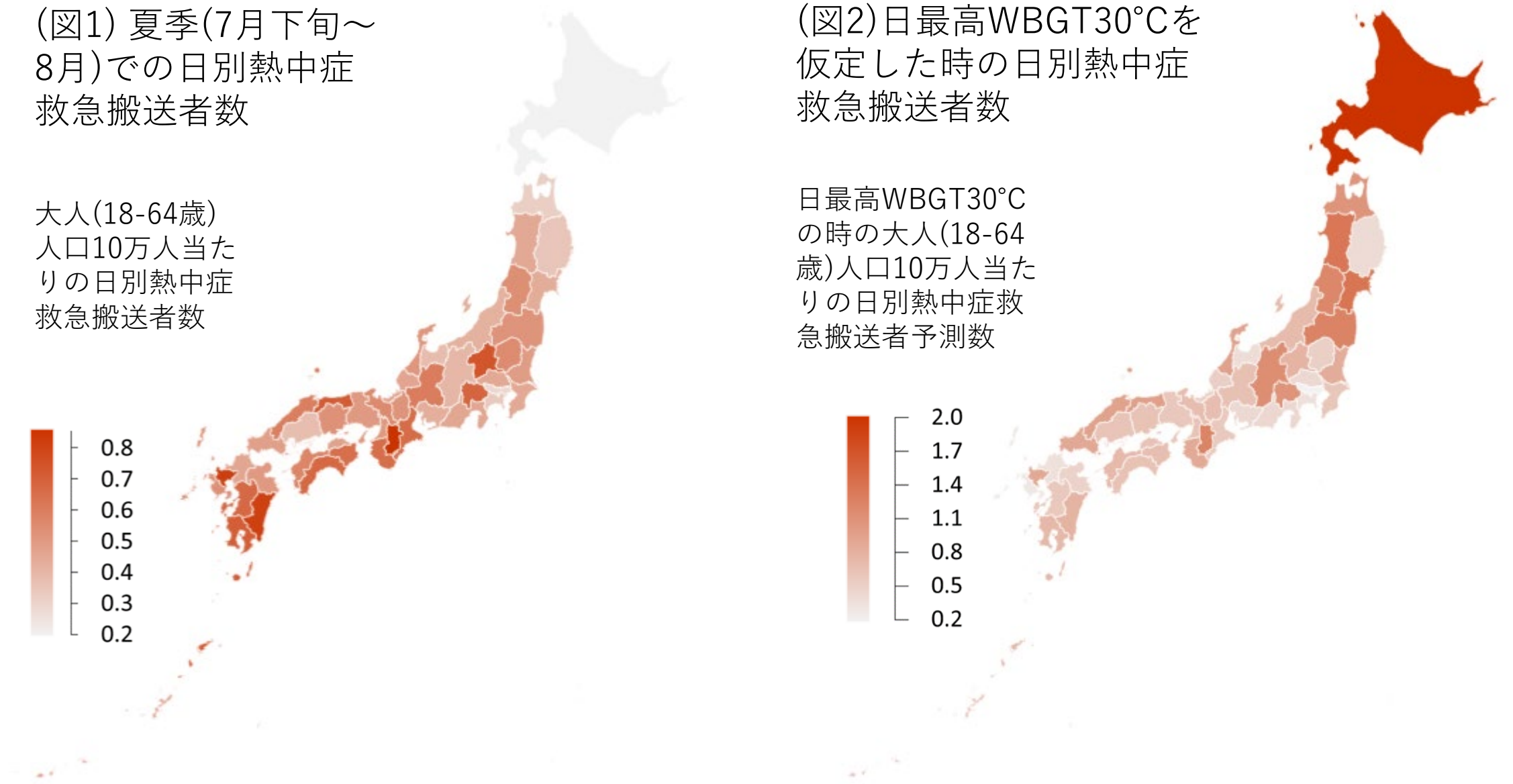
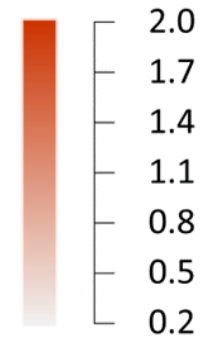
(図1) 夏季(7月下旬～8月)での日別熱中症救急搬送者数

大人(18-64歳)
人口10万人当たりの日別熱中症救急搬送者数



(図2) 日最高WBGT30°Cを仮定した時の日別熱中症救急搬送者数

日最高WBGT30°Cの時の大人(18-64歳)人口10万人当たりの日別熱中症救急搬送者予測数



物理的リスク因子に関する研究（4）

非電離放射線

非電離放射線は、安衛法の対象ではありませんが、高強度のばく露は短期的影響（刺激作用、発熱）が生じます。発生源近くでは適切な知識の取得と防護が必要です。

高強度の非電離放射線ばく露のある業務として、MRI検査業務、溶接などが知られています。

研究は、

- ①ばく露評価
- ②影響評価・作業改善
- ③医学・生物学研究

について進めています。

非電離放射線とは？

- 非電離放射線は、電波や赤外線、可視光線、一部の紫外線（周波数では300 GHz以下）で、原子を電離・励起するようなエネルギーはありません。
- 非電離放射線は、広く日常生活、産業や医療現場で応用されています。
- 安衛法の対象ではありませんが、高強度のばく露は短期的影響（刺激作用、発熱）が生じます。発生源近くでは適切な知識の取得と防護が必要です。
- 高強度の非電離放射線ばく露のある業務として、MRI検査業務、溶接などが知られています。



生活における非電離放射線の応用例

	時間変動のない非電離放射線(静磁界)	時間変化する非電離放射線	
		< 10 MHz	> 10 MHz
物理作用	①動く導体による起電力の発生 ②動く荷電体に対して働く力 ③永久磁気双極子や非球形の常磁性あるいは反磁性体に働くトルク ④磁性体に働く力	誘導電流	発熱
生体効果	中枢・末梢神経の刺激 移動する荷電粒子にかかるローレンツ力 生体分子に働く力	生体分子の配向	中枢・末梢神経の刺激 発熱

非電離放射線の短期的影響とその仕組み

研究例：MRI検査業務における調査研究

①ばく露評価

- 臨床検査中の非電離放射線（静磁界）のばく露レベルを調査し、業務内容との関連を明らかにしました（Yamaguchi-Sekino et al., Bioelectromagnetics 2014）。



非常に強い非電離放射線（静磁界）



②影響評価・作業改善



- 装置付近に立ち入り制限区域を作ることばく露低減がなされ、作業性も損なわれないことを明らかにしました（Yamaguchi-Sekino et al., IEEE Trans Magn 2015）。
- 装置付近の立位での姿勢変化をモーションキャプチャで評価し、通常業務ではほぼ影響がないことを明らかにしました（Yamaguchi-Sekino et al., TEEE 2022）。

③医学・生物学研究

- 非常に強い静磁界中（7 T）で間葉系幹細胞を培養し、骨形成に影響がないことを明らかにしました（Yamaguchi-Sekino et al., Bioelectromagnetics 2019）。
- 妊娠就業者のMRI検査業務配置を避ける傾向について、その背景として有害性研究の不十分さや身体負荷の考慮があることを明らかにし、現在までの国内外の安全性情報について情報提供しました（山口ら、労働安全衛生研究2019、JNIOOSH HP）。
- 女性就業者を対象とし母子手帳を活用した後ろ向き研究で、妊娠中のMRI検査業務の有無で早産や低体重児出生に違いはないことを明らかにしました（Yamaguchi-Sekino and Kojimahara, MRMS in press）。