

Figure 17. 4ヶ月後の緩和曲線 (NC社製RW)

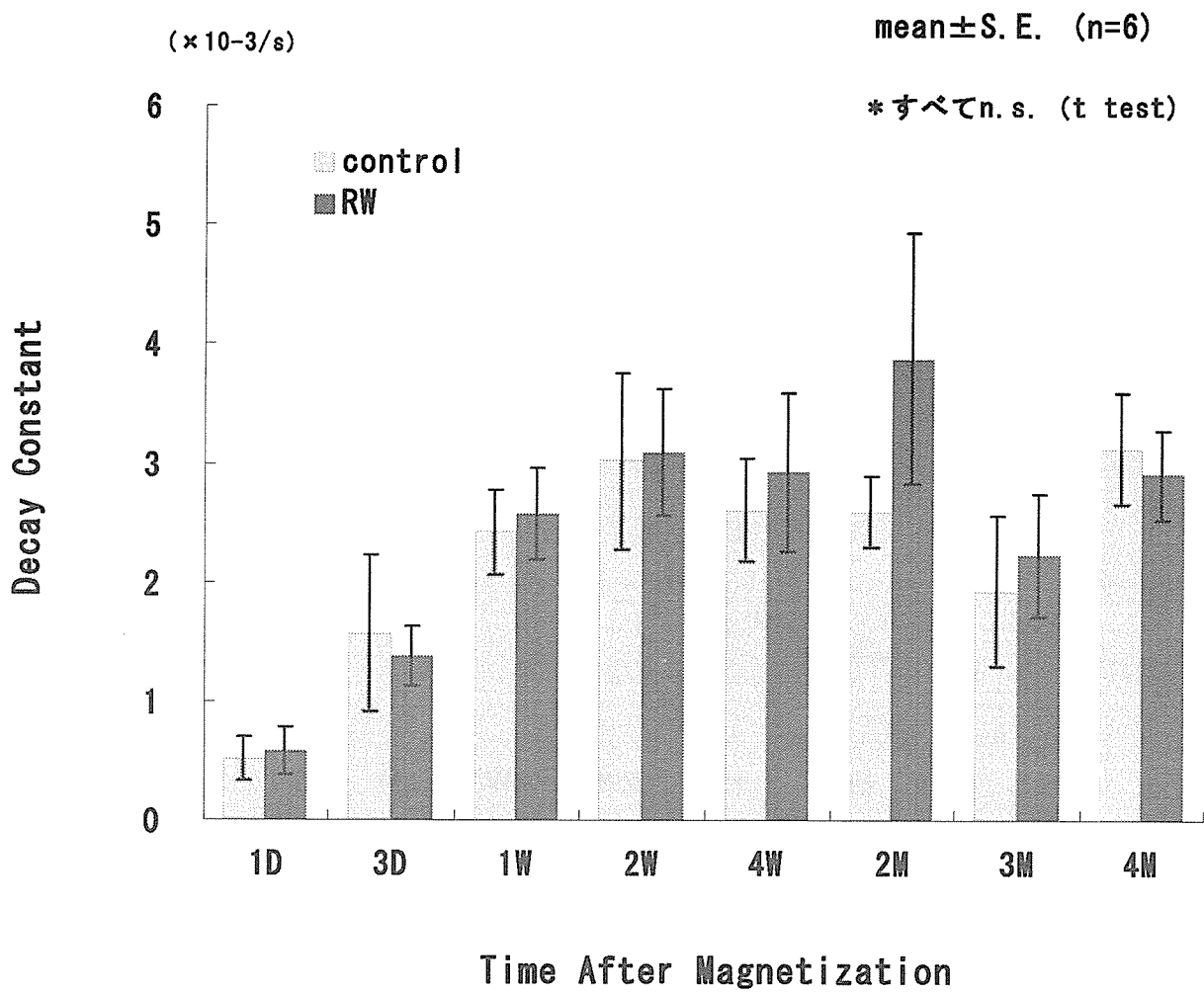


Figure 18. 鉄投与後の緩和係数の変化 (NC社製RW)

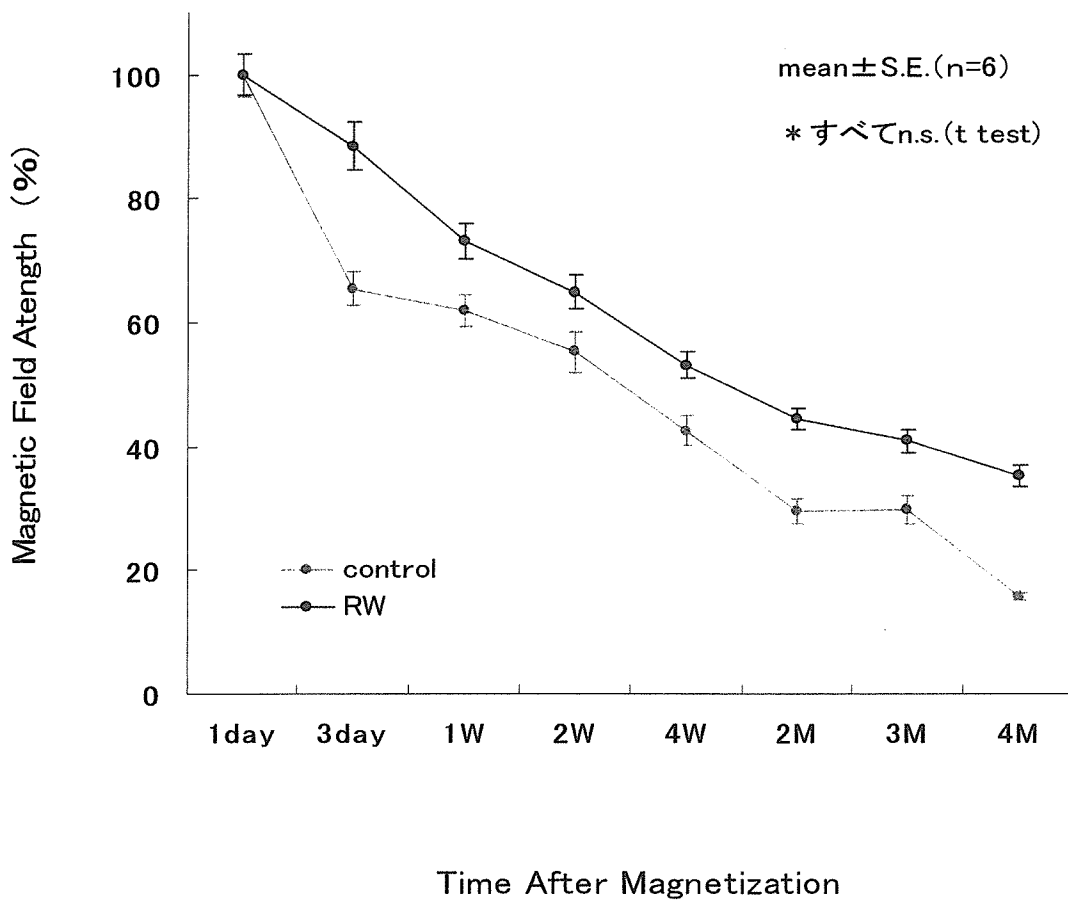


Figure 19. ラット肺からの磁性粒子のクリアランス
(NC 社製 RW)

Table 3. 肺内滞留繊維数 (NT 社製 RW)

| 観察期間 | 総繊維 | $L \leq 5$ | $5 < L \leq 20$ | $20 < L$ | WHO 繊維 |
|------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 直後群 | 58.94 (1.16) | 24.40 (1.23) | 29.16 (1.15) | 5.13 (1.20) | 34.30 (1.15) |
| 1週後群 | 57.23 (1.14) | 28.46 (1.22) | 25.09 (1.10) | 3.95 (1.16) | 29.07 (1.10) |
| 2週後群 | 54.55 (1.20) | 25.31 (1.18) | 25.51 (1.25) | 3.52 (1.40) | 29.07 (1.26) |
| 4週後群 | 43.65 ^{a,b} (1.10) | 20.35 ^b (1.14) | 20.58 ^a (1.08) | 2.66 ^{a,b} (1.18) | 23.28 ^a (1.07) |

幾何平均 $\times 10^5$ /肺

(幾何標準偏差)

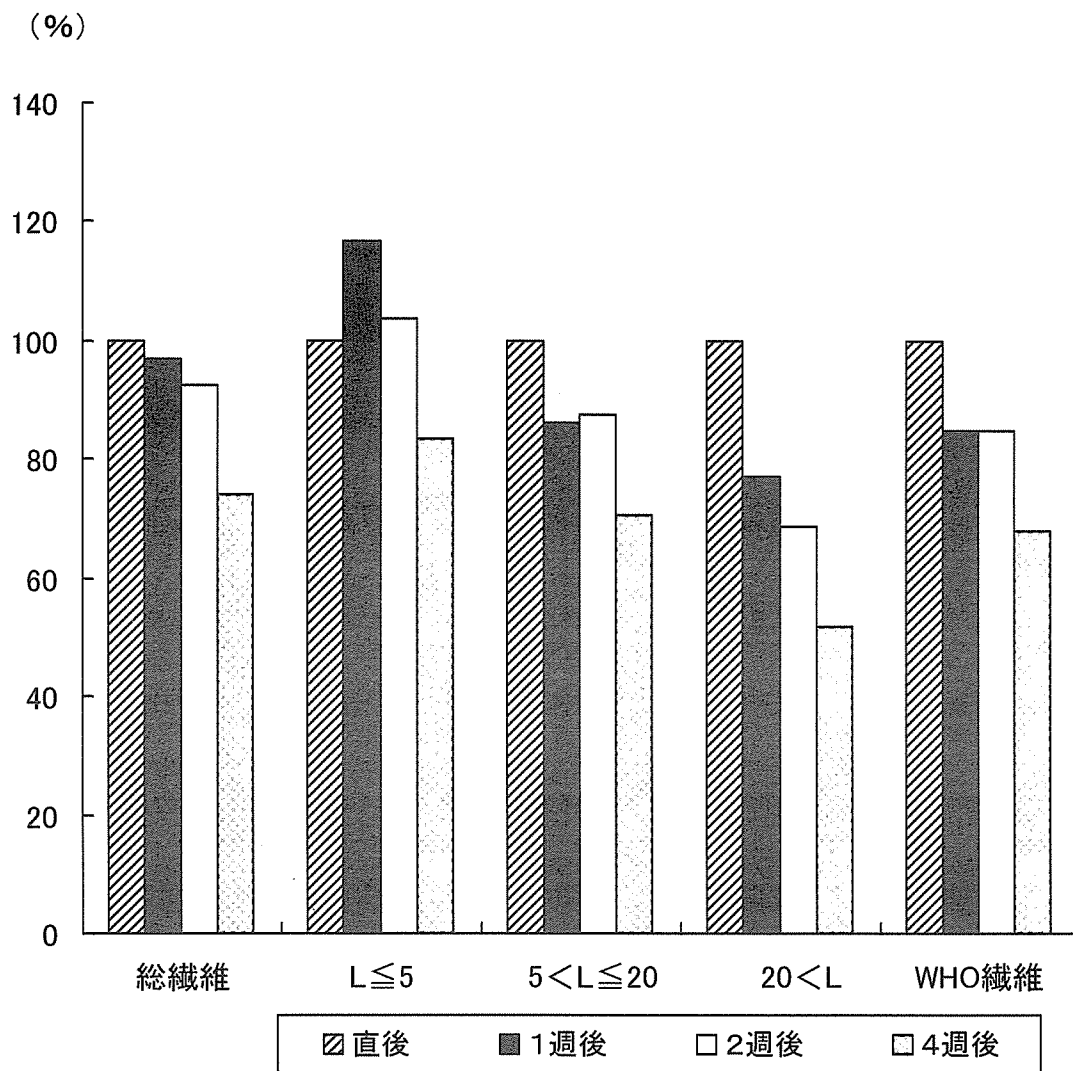
n=6

L=繊維の長径 (μm)

*Scheffe' test

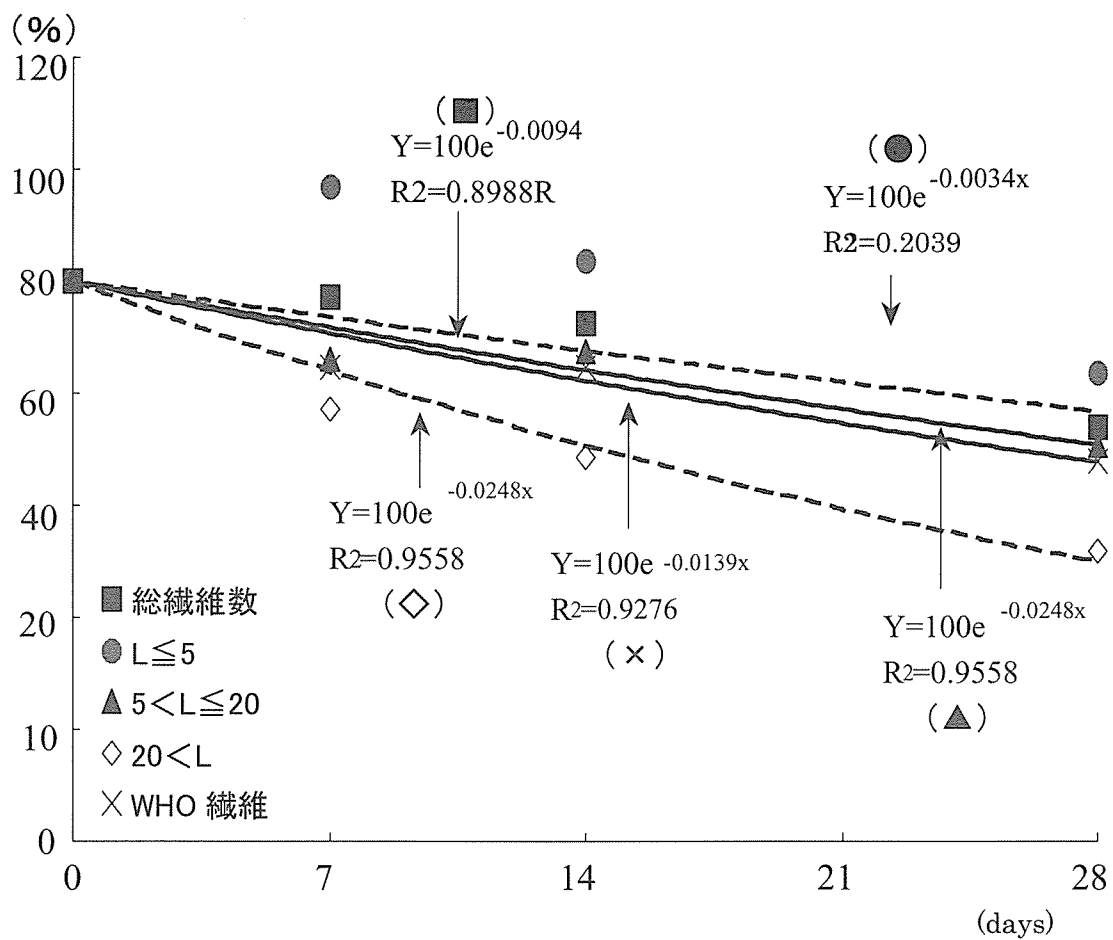
a: 直後群との比較 ($p < 0.01$)

b: 1週後群との比較 ($p < 0.01$)



曝露直後群を100%としたときの割合（幾何平均）

Figure 20. 肺内繊維数の推移（NT社製RW）



直後群を 100%としたときの割合

Figure 21. 指数近似曲線 (幾何平均) (NT 社製 RW)

Table 4. 肺内纖維サイズの推移 (NT 社製 RW)

| 観察期間 | 長径 | | 短径 | |
|-------|-------------------|--------|---------------------|--------|
| 直後群 | 6.36 | (2.47) | 0.47 | (1.66) |
| 1 週後群 | 5.25 ^a | (2.58) | 0.44 ^a | (1.65) |
| 2 週後群 | 5.62 ^a | (2.50) | 0.43 ^a | (1.69) |
| 4 週後群 | 5.64 ^a | (2.38) | 0.40 ^{abc} | (1.78) |

幾何平均(幾何標準偏差)(μm)

*Scheffe' test

a : 直後群との比較($p < 0.05$)

b : 1 週後群との比較($p < 0.05$)

c : 2 週後群との比較($p < 0.05$)

Table 5. 肺内滞留繊維数 (NC 社製 RW)

| 観察期間 | 総繊維 | $L \leq 5$ | $5 < L \leq 20$ | $20 < L$ | WHO 繊維 |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 日後群 | 51.83 (1.22) | 21.94 (1.21) | 24.96 (1.27) | 4.56 (1.53) | 29.67 (1.28) |
| 90 日後群 | 26.06 ^a (1.18) | 12.41 ^a (1.20) | 12.09 ^a (1.23) | 1.48 ^a (1.19) | 13.58 ^a (1.21) |
| 180 日後群 | 11.76 ^{a,b} (1.13) | 6.47 ^{a,b} (1.17) | 4.76 ^{a,b} (1.15) | 0.48 ^{a,b} (1.25) | 5.25 ^{a,b} (1.14) |

幾何平均 $\times 10^5$ /肺

*Scheffe' test

幾何標準偏差)

a : 1 日後群との比較 ($p < 0.01$)

n=6

b : 90 日後群との比較 ($p < 0.01$)

L=繊維の長径 (μm)

WHO 繊維: 繊維の中で長径が $5 \mu m$ より大きく 短径が $3 \mu m$ 未満のもの

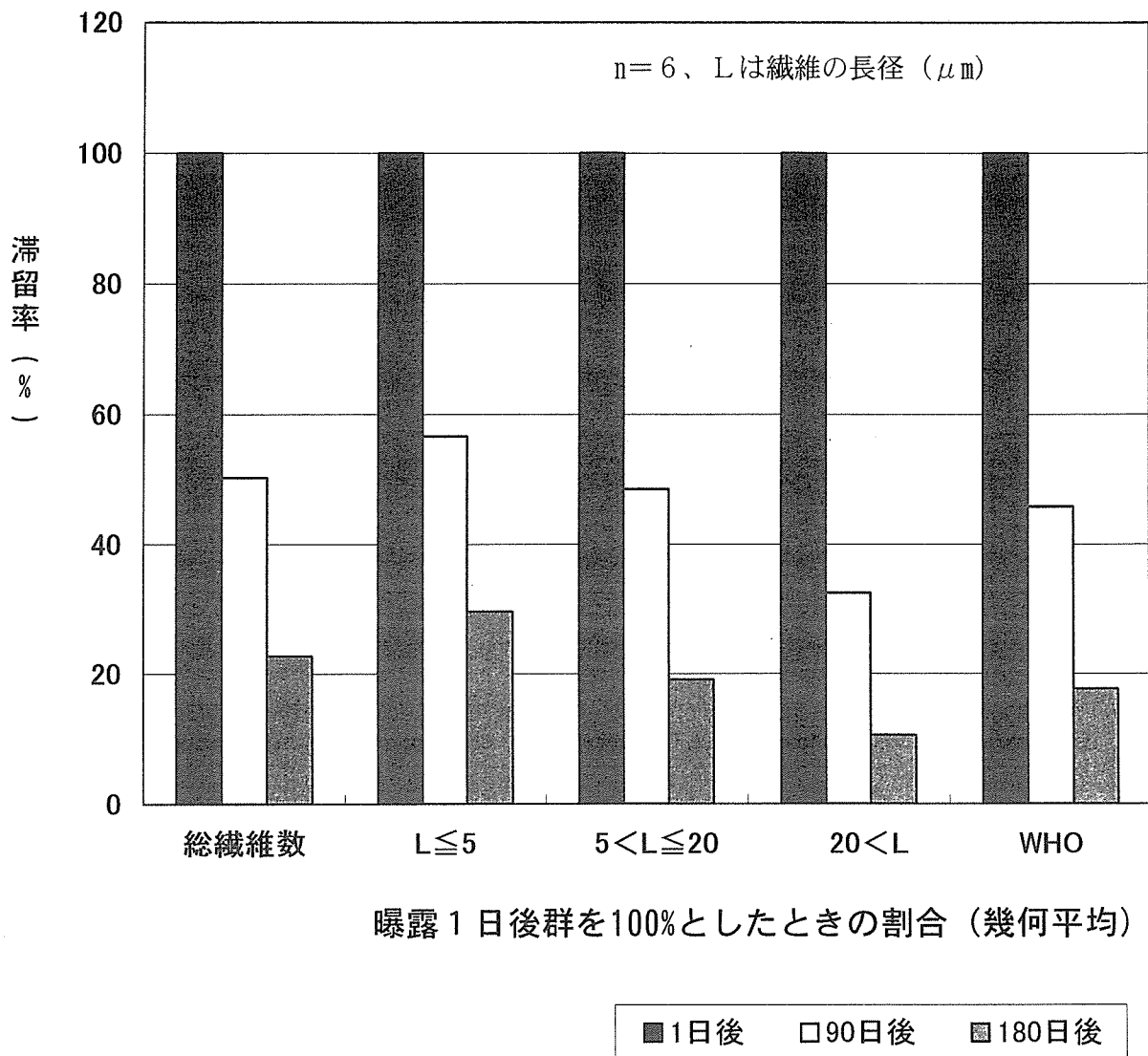


Figure 22. 肺内繊維数の推移 (NC 社製 RW)

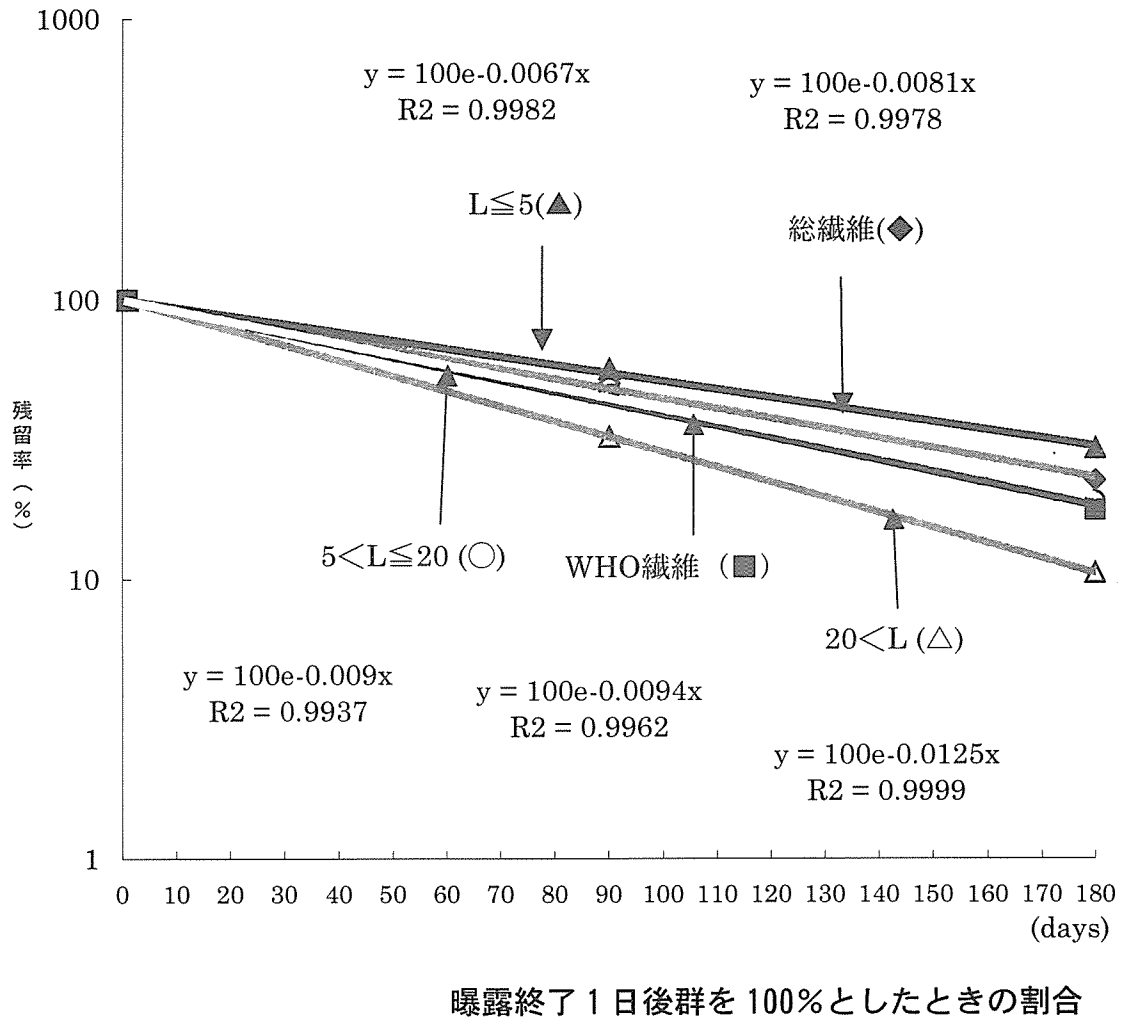


Figure 23. 指数近似曲線（幾何平均）（NC社製RW）

Table 6. 長径と短径の推移 (総繊維) (NC 社製 RW)

| 観察期間 | 長径 | | 短径 | |
|---------|---------------------|--------|-------------------|--------|
| 1 日後群 | 6.53 | (2.32) | 0.45 | (1.72) |
| 90 日後群 | 5.56 ^a | (2.20) | 0.35 ^a | (2.10) |
| 180 日後群 | 4.41 ^{a,b} | (2.46) | 0.35 ^a | (2.17) |

幾何平均(幾何標準偏差) (μ m)

*Scheffe' test

n=6

a : 1 日後群との比較 ($p < 0.01$)

b : 90 日後群との比較 ($p < 0.01$)

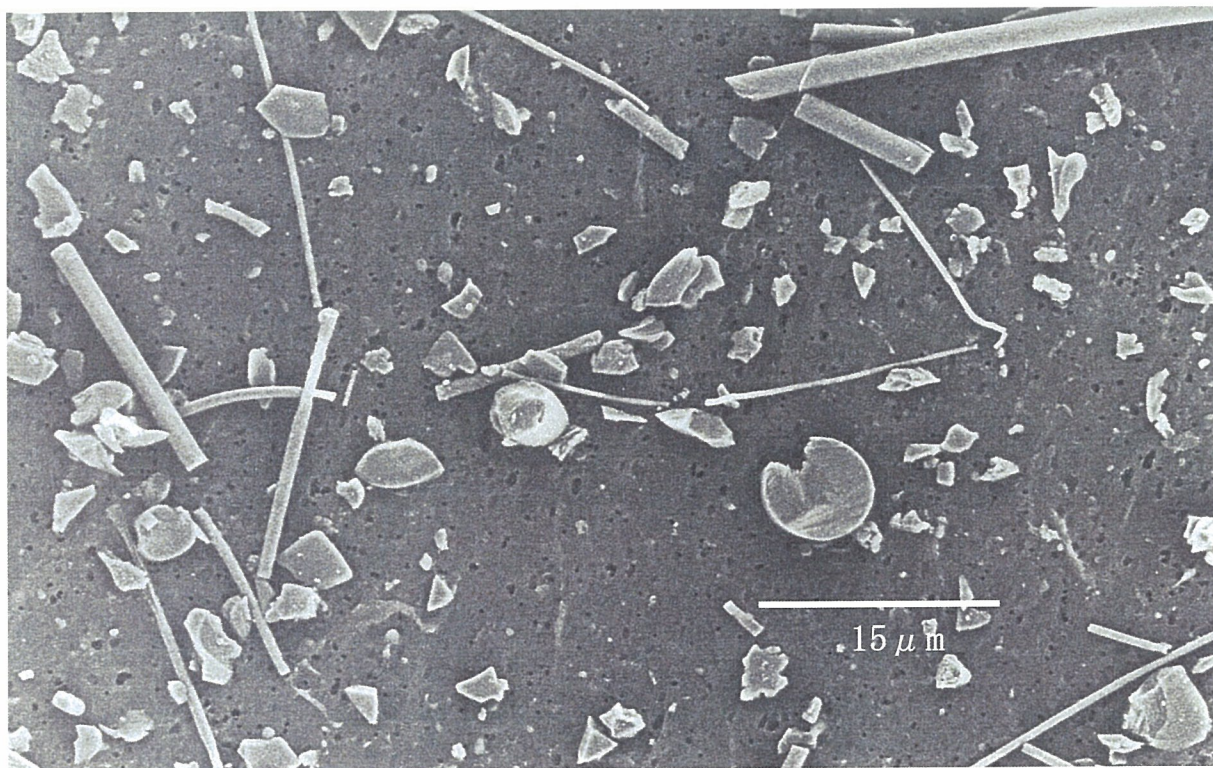


Figure 24. 肺内繊維の電子顕微鏡写真(1日後)

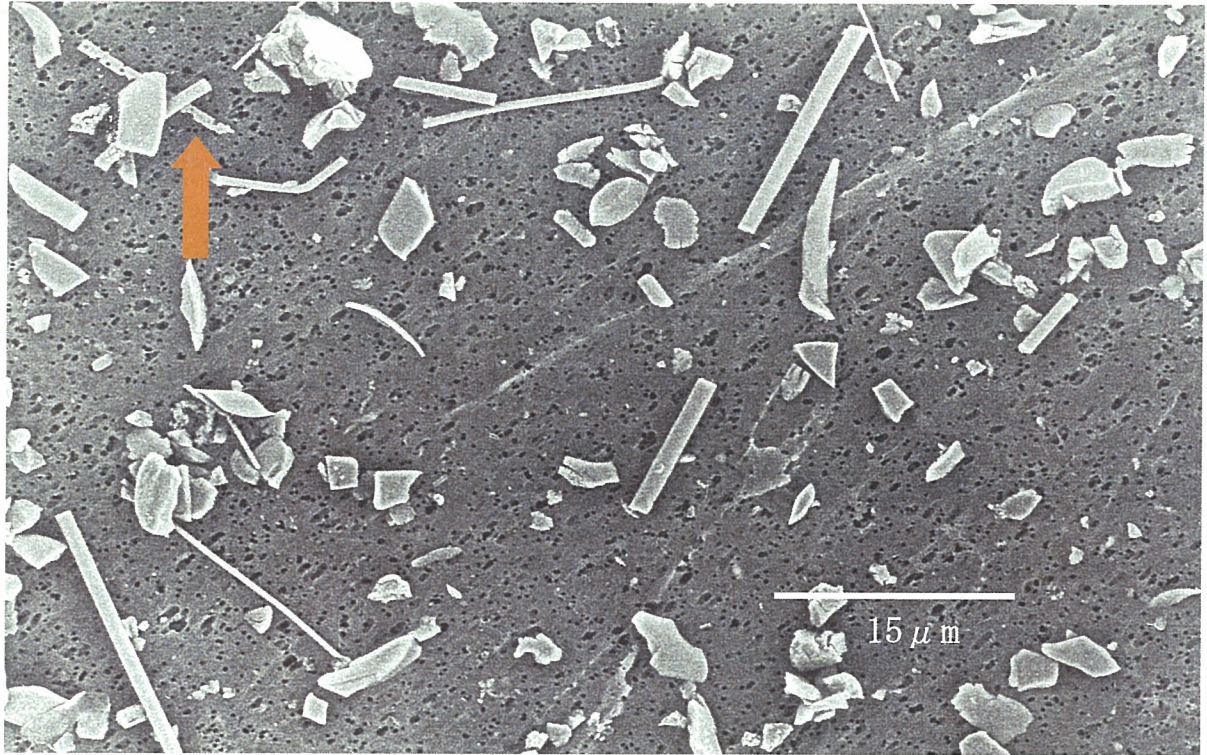


Figure 25. 肺内繊維の電子顕微鏡写真(90日後)

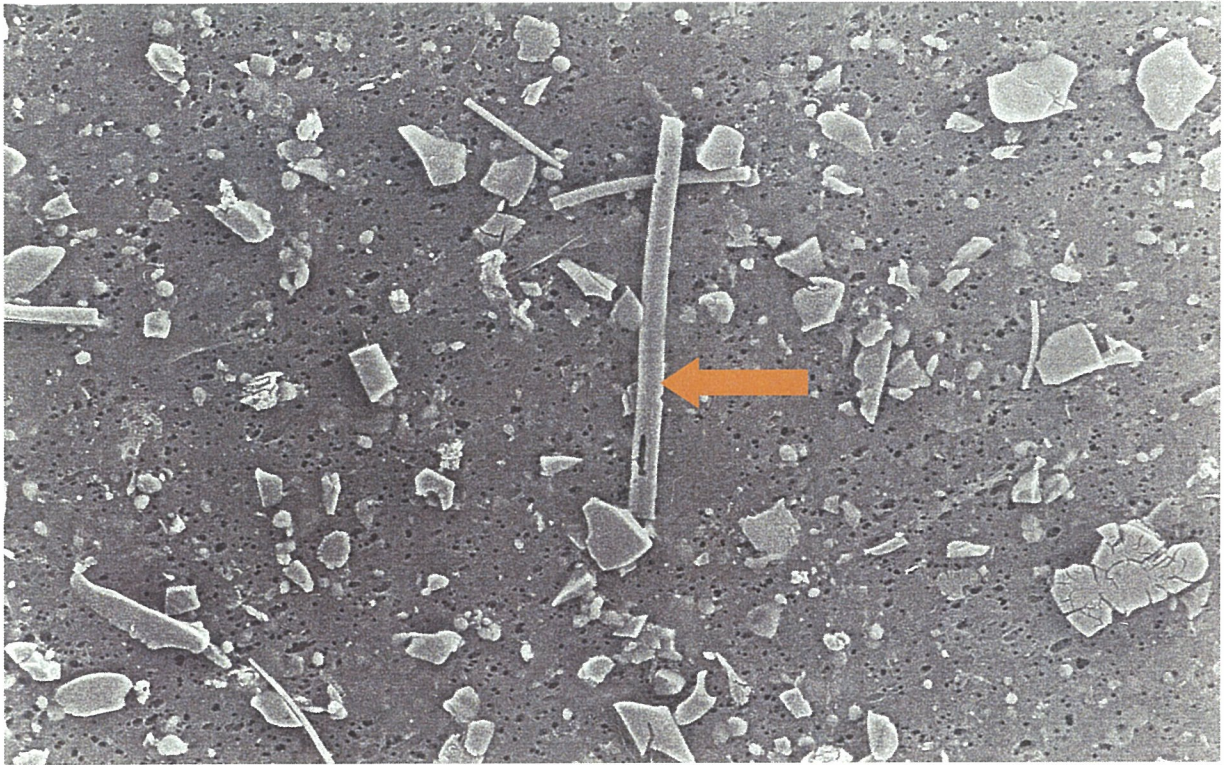


Figure 26. 肺内繊維の電子顕微鏡写真(180日後)



Figure 27. 肺内繊維の電子顕微鏡写真(180日後)

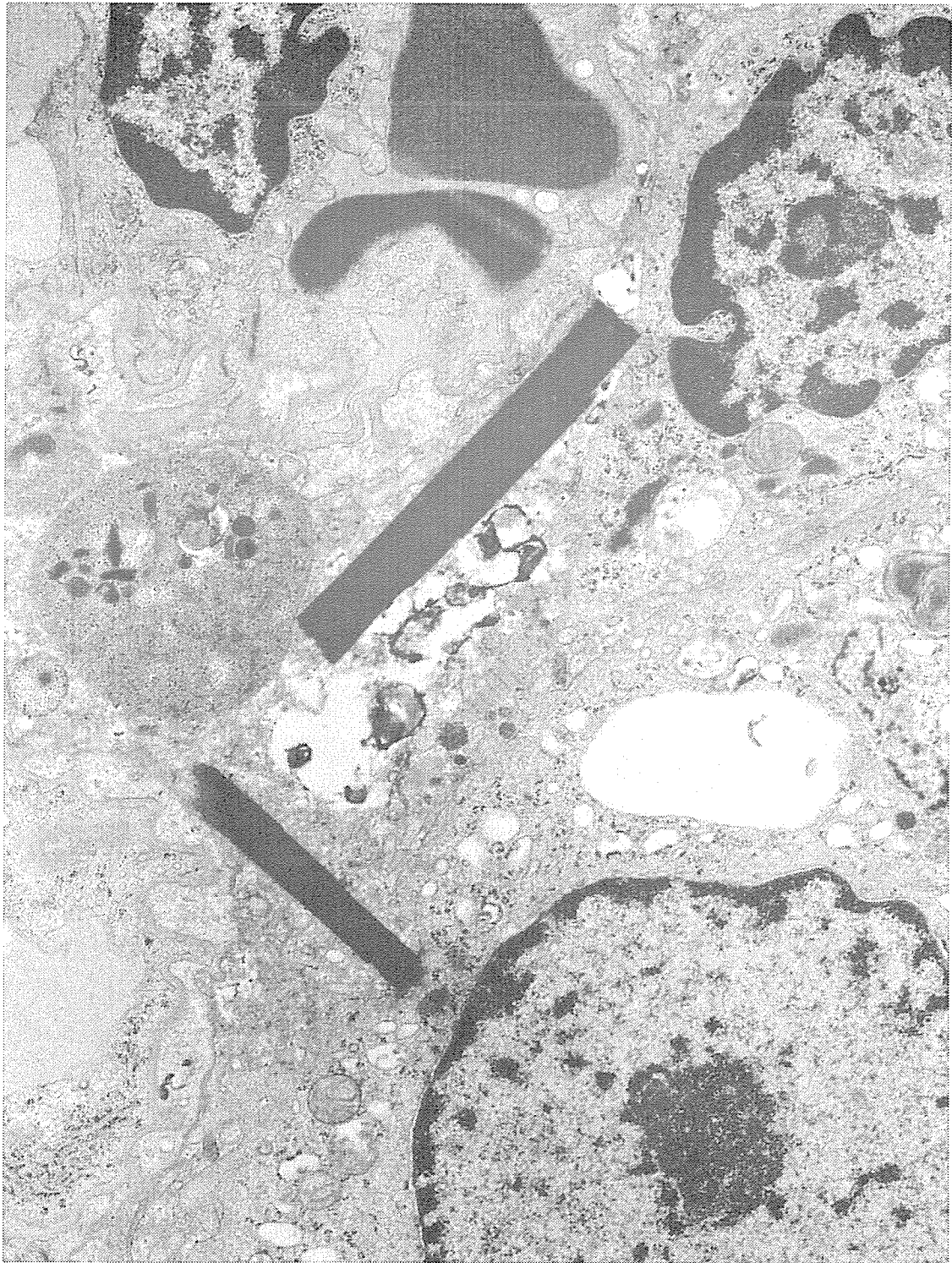


Figure 28. RW 吸入後の肺の透過型電子顕微鏡像

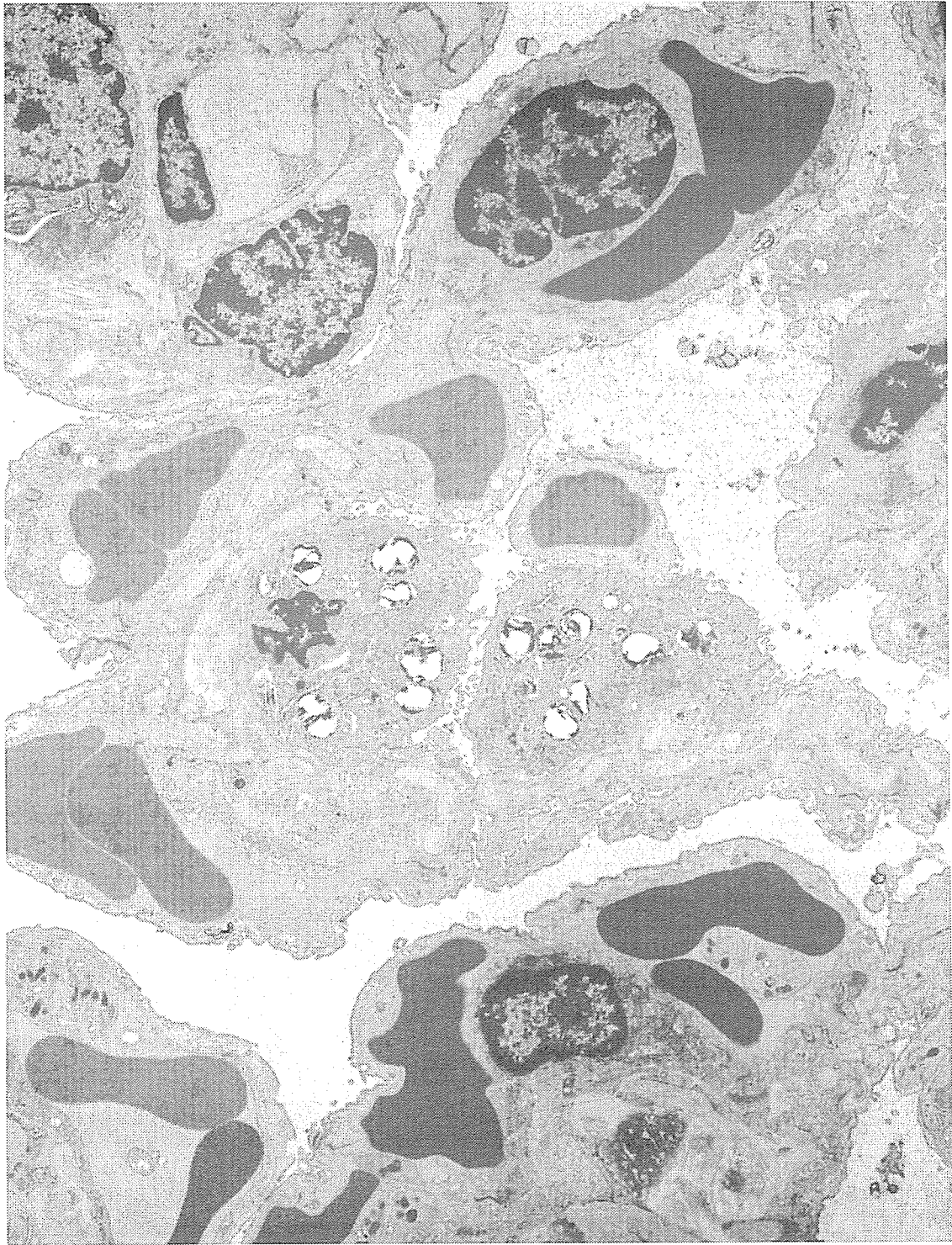


Figure 29. RW 吸入後の肺の透過型電子顕微鏡像

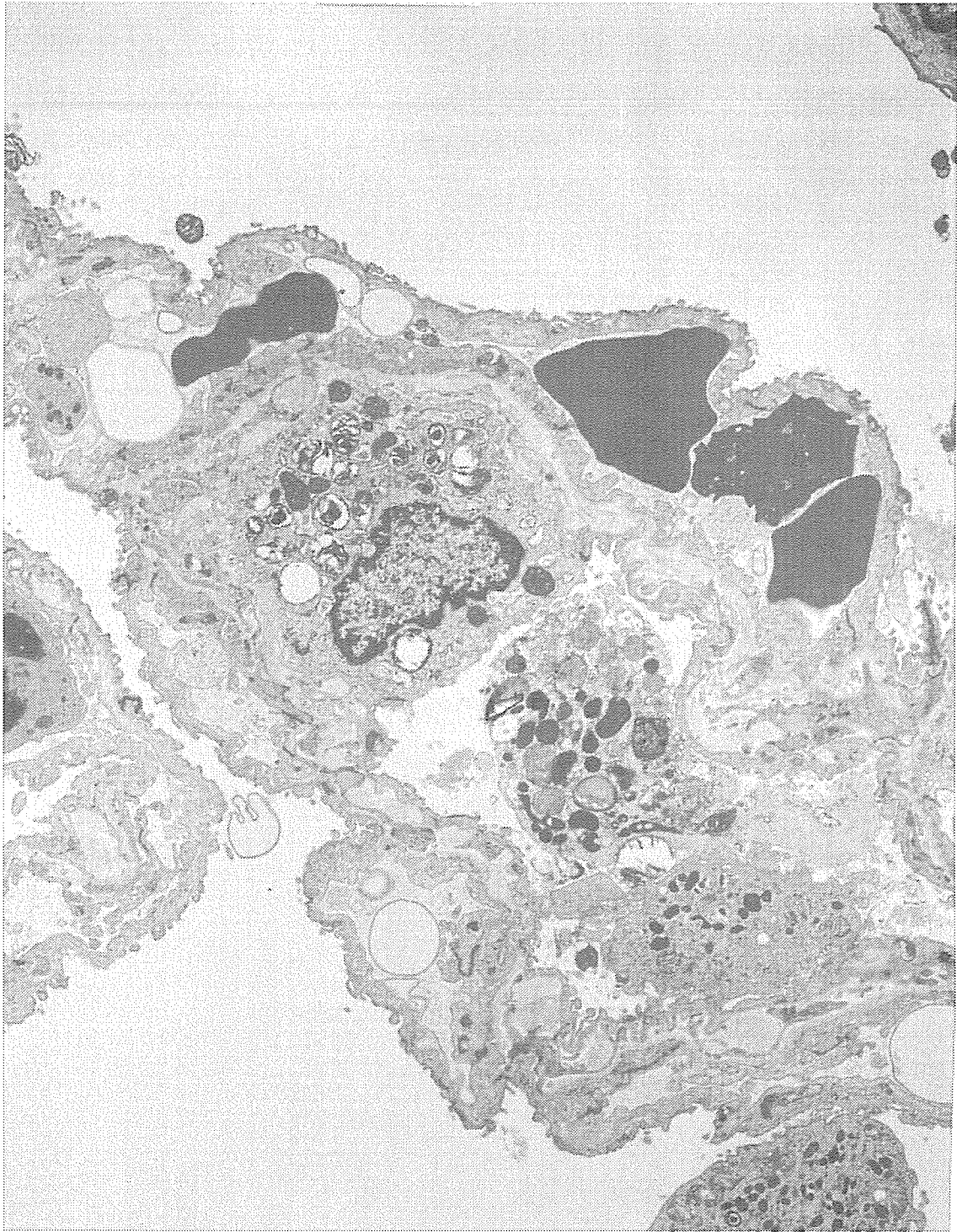


Figure 30. RW 吸入後の肺の透過型電子顕微鏡像

平成17～18年度厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総合研究報告書

職業性呼吸器疾患の予防及び健康管理に関する研究
肺磁界測定の検討
分担研究者：中館 俊夫（昭和大学教授）

研究要旨：粉じん作業による健康障害の予防のために、粉じんの磁性を利用して肺内に沈着している粉じん量を推定する肺磁界測定法（Magnetopneumography）について、その有用性を文献的に検討するとともに、装置を小型化し、可搬性を高めることで、粉じん作業の現場で容易に測定ができるような簡便な装置の開発と測定手技の検討を試みた。その結果、肺磁界測定法が、磁性粉じん取り扱い作業の曝露評価および健康リスク評価に有用であることを確認するとともに、今回開発した可搬型肺磁界測定装置が従来の設置型装置とほぼ同等な感度、精度を有することを確認した。本装置は、作業の現場での測定が可能であり、溶接作業等における健康診断／スクリーニング、労働衛生教育、胸部異常所見の精密検査に利用できるものと考えられる。

A. 研究目的

磁性を有する粉じんに職業的に曝露される作業員において、その磁性を利用した肺内沈着粉じん量の測定法として、肺磁界測定法が開発されている。しかし標準的な測定装置は大型で可搬性に劣るため、設置された施設内における計測は可能でも、作業の現場で測定を行うことは困難であり、そのため労働衛生の場での利用はほとんど行われていないのが実情である。

本研究では肺磁界測定法の有用性を、これまでのわれわれの研究結果と文献的な考察によって確認した上で、測定上十分な感度を有し、かつ持ち運びが容易な携帯型肺磁界計測器を開発する。そして実際にこの機器を用いて、職業性に磁性体粉じんの曝露を受けている作業員の計測を行い、作業歴などの曝露情報と肺磁界計測値との関連を分析することによって、とくに曝露評価と健康リスク評価の観点から、本法の労働衛生における利用の可能性を検討することを目的とする。

B. 研究方法

1. 肺磁界測定の原理と有用性

まず本研究で検討する肺磁界測定方について、われわれの研究結果も含むこれまで

の報告から、その原理と有用性に関する文献的整理を行った。

2. 肺磁界測定装置の小型化による可搬型測定装置の試作

まず開発の第一段階として、われわれがこれまで用いてきた標準法における装置を基盤に、労働者の作業の現場で測定ができるような、小型で可搬性に富み、簡便でかつ十分な精度を有する装置を、工学的に検討、試作した。そしてその機器を用いたパイロット測定を、溶接作業員において実施し、機器の妥当性を検討した。

3. 可搬型測定装置の改良と測定条件の標準化

開発の第二段階として、試作装置を用いたパイロット測定で明らかになった改善点を工学的に検討し、可搬性を保ちつつ、これまでの設置型の大型装置とほぼ同等な感度、精度を有する測定装置を開発した。また測定手技の標準化と測定結果の視覚的表示方法を工夫した。

4. 溶接作業における作業の現場での調査

開発された可搬型測定装置を用いて、磁性粉じんに職業的に曝露されている作業員について肺磁界測定を行い、その実際の作業の場における利用の可能性を確認した。対象作業員として、当初は溶接作業以外の作業員を予定していたが、種々の制約から、

平成 18 年度までにこれを実施することは困難であった。そこで、磁性粉じんに曝露する作業の代表として、以前からデータの蓄積がある溶接作業者の測定を行った。

5. 倫理的配慮

本研究のうち労働者に対する肺磁界測定等の実施に関しては、事前に十分な説明を行い、対象者の同意に基づいて実施された。測定への参加は対象者の自由意思により決定され、参加に同意しない場合においてもいかなる不利益も被ることはなく、また調査により得られた個人情報の扱いには万全の注意を払った上で実施した。本計画は、疫学研究に関する倫理指針（文部科学省・厚生労働省）にしたがって行われた。

C. 研究結果

1. 肺磁界測定の原理と有用性に関する文献的検討

ア. 肺磁界測定の原理

磁気を利用した生体計測は、生体が発生する磁界を利用した脳磁図

(Magnetoencephalography, MEG) や心磁図 (Magnetocardiography, MCG) が最も知られているが、物質の磁性を利用して、体外から非侵襲的に生体内の物質分布や機能分布を測定しようとする試みも盛んに行われている。例えば、鉄の磁性を利用したヘモクロマトーシスの診断や、磁性体を嚥下させて経時的にその磁界を計測し、消化管機能を評価するなどである。

一方、多くの粉じんは、強弱の差はあるが磁気的な性質を持っているので、体外から胸部に磁界を与えれば、肺内の粉じんはその磁性に応じて磁化され、外部磁界を取り去ったあとでも、微弱な残留磁気を放射する。この磁気を外部から計測することによって、肺内に蓄積した粉じんの量と分布を推定することができる。

これが肺磁界測定法

(Magnetopneumography, MPG) であり、Cohen らによって 1978 年に開発された。胸部を前後方向に挟むように磁化器を配し、通常 50 ミリテスラ程度の静磁界を負荷する (図 1)。磁化器を取り去ったあとでも、溶接作業者などでは吸入されたヒュームの磁性のために、ナノテスラオーダーの微弱な磁界が残留するので、これをフラックスゲート磁束計で検出する (図 2)。胸部全体

の磁界強度をスキャンすれば、肺に沈着したヒュームの分布を推定することもできる (図 3)。Cohen らは、種々の職業従事者で、この肺磁界強度が増加していることを報告している (図 4)。

磁性の弱い粉じんの場合は、磁気シールドを用いたり (図 5)、感度の高いスクイド (SQUID) 磁束計を利用することができるが、それには大掛かりな設備が必要となる。静磁界による磁化は、ほとんど知覚されるような負荷は起こさないで、その後の残留磁界の計測を含めて侵襲なく肺内に沈着した磁性粉じん量を推定できる。

イ. 標準手法による肺磁界測定法の有用性

まず、じん肺の一次予防における肺磁界測定法の有用性を確認するため、土木・農耕作業に用いられる大型車輛を製造する工場、軟鋼の溶接作業に従事するもののうち、胸部レントゲン写真で肺の線維化所見を認めない約 140 名の作業者を対象に、われわれが標準的な手法を用いて肺磁界測定を行い、種々の生体指標との関連を検討した結果を示す。

肺磁界測定は、まず被検者を立位とし、胸部を前後方向に 50mT (ミリテスラ) の強度で 10 秒間磁化した (図 6)。続いて速やかに被検者を測定用の架台上で仰臥位とし、胸壁頂点上 10cm の高さで、フラックスゲート型磁束計にて胸部をスキャンした (図 7)。生体指標に関しては、肺機能検査として、立位での努力性スパイログラムを、ローリングシール型スパイロメータ (CHESTAC65, チェスト社) により ATS (米国胸部学会) の標準法に従って測定した。また標準化質問票 (ATS-DLD-78-A に準拠、ATS) を用いた面接により、呼吸器症状、既往・現病歴、喫煙歴を得るとともに、作業歴を聴取し、事業所より作業環境、作業工程等の情報を得た。

胸壁上をスキャンして得られた肺磁界計測値のうち、最大の値を肺磁界強度 (LMF) として、そのヒストグラムを図 8 に示した。レントゲン写真上は顕著な変化は認められなくとも、溶接ヒュームは確実に作業者の呼吸器に沈着していることが推察される。作業者の中には、数百ナノテスラを超える高度な残留磁界強度を示すものも認められ、この値は単純に換算すると、溶接ヒュームとして数百ミリグラムを超える量に相当していた。