環境省請負事業

平成１５年度

生活環境中電磁界と健康リスク評価に係る調査

報告書

独立行政法人
国立環境研究所

目　次

検討委員会委員名簿

1.調査計画

2. 調査結果
2.1. 調査１.個人磁界曝露調査―疫学調査の対照群のうち東京大都市圏居住の小児を対象とした追跡調査
2.2.調査２.各種電気機器等の利用による磁界曝露推定についてのモデル研究
2.3.まとめ

3. 国際動向
3.1.文献調査
3.1.1.超低周波電磁界
3.1.2.高周波電磁界

3.2. 超低周波磁界への諸外国の対応
3.2.1.WHO の動向
3.2.2.諸外国の動向

添付資料 1. 調査１.個人磁界曝露調査―疫学調査の対照群のうち東京大都市圏居住の小児を対象とした追跡調査の測定結果
添付資料 2. WHO (draft): Framework for developing EMF standards (EMF 基準の開発のためのフレームワーク)の全訳
添付資料 3. プロシーディング：シンポジウム「生活環境中の電磁界リスクとガバナンス」2003 年９月、東京

検討会委員名簿　　（敬称略・あいうえお順）

氏名	勤務先・役職名等
伊坂　勝生	徳島大学工学部　教授
大久保　千代次	国立保健医療科学院白金台庁舎生活環境部部長
岡本　浩一	東洋英和女学院大学人間科学部教授
笹島　茂	国立保健医療科学院公衆衛生政策部行政政策室長
高久　史麿　◎	自治医科大学学長
多氣　昌生	東京都立大学大学院工学研究科電気工学専攻教授
長野　勇	金沢大学大学院自然科学研究科 数理情報科学専攻情報システム講座　教授 (金沢大学総合情報処理センター長併任)
中村　好一	自治医科大学　公衆衛生学教授
東　敏昭	産業医科大学産業生態科学研究所 作業病態学研究室教授
藤波　秀雄	電力中央研究所狛江研究所電気絶縁部部長
本田　靖	筑波大学体育科学系　助教授
山口　直人	東京女子医科大学衛生学(二)教室　主任教授
山田　外史	金沢大学自然計測応用研究センター教授
吉村　健清	産業医科大学産業生態科学研究所臨床疫学教授
渡邊　昌	東京農業大学応用生物科学部 栄養科学科公衆栄養学研究室教授

◎　委員長

事務局責任者　独立行政法人国立環境研究所首席研究官　兜　真徳

１．調査計画

1.1　背景と目的

商用周波数（50 ないし 60Hz）の磁界については、これまで西欧諸国で行われてきた一連の疫学調査結果のプール分析において全体として高圧送電線等の電力設備と関連する比較的高い屋内磁界レベル（residential MF level あるいは“バックグランド”レベルとも呼ばれる）が 0.4 μT 以上(24 ないし 48 時間平均レベル)の場合小児白血病のリスクが約２倍となることが示唆されている。その後、最近終了した我が国での疫学調査（研究代表：兜　真徳、1999-2001 年）においても１週間平均磁界レベルについても同様な結果が観察されており、さらに詳細な検討が求められている。

この“バックグランド”レベルは、夜間については、電気毛布など身体の近傍で用いられるために高レベルの磁界曝露をもたらす電気機器の利用がない限り、そのまま個人曝露レベルに対応しているものである。また、昼間においても、これまでの筆者らの調査において子供の寝室と居間などの磁界レベルは相関が高いことが示されており、特定の磁界発生源（電気機器や配電盤等）からある程度の距離をとって屋内で活動している限り基本的に個人曝露レベルに近似しているはずである。一方、外出する場合や学校などの施設で一定時間を過ごす場合には、活動する場所によって電車・地下鉄内あるいは沿線や学校周辺の電力設備からの曝露などがありうるため、上記”バックグランド”レベルが低い場合には実際の曝露レベルはそれより高くなる可能性が高い一方、高い場合には実際の曝露レベルはやや低くなる可能性が大きい。なお、こうした”バックグランド”以外の磁界への曝露は活動内容や場所などによる変動が大きいことが予想される。

ところで上記疫学調査では、これまでの米国 NCI 調査などに習って、以上のような”バックグランド”磁界以外の磁界、とくに屋内で利用する電気機器等から発生する磁界（機器からの距離や使用時間などにより曝露には変動が大きい）への曝露に関しては質問票で調べられた個々の機器の利用の有無や利用時間などのリスクとして、また、屋外での磁界曝露に関しては、通学中の学校施設と高圧送電線との位置関係などに関して別途検討している。しかし、個々の電気機器の利用による磁界曝露レベルがどの程度の範囲にあるかについての定量的なまた系統的な測定データは調査されていない。

本調査研究では、我が国での小児白血病の疫学調査の結果を基本として、”バックグランド”磁界以外の磁界への曝露についての追加測定調査を行い、それらのリスクについてさらに検討することを目的とする。追加測定調査としては、”バックグランド”磁界以外への磁界曝露を推定するため、上記疫学調査対象者のうち東京大都市圏居住の対照群に再度協力依頼し、対象児の寝室の磁界レベルと同時に対象児本人の２４時間個人曝露測定を行うほか、別途、モデル実験によって各種の電気機器から発生する磁界による個人曝露レベルを定量的に測定調査する。また、それら調査結果の他、上記疫学調査で得られている電気機器利用状況やそれらの小児白血病に対するリスク解析結果を加えて考察する。

1.2　調査１．個人磁界曝露調査―小児白血病の疫学調査の対照群のうち東京大都市圏居住の小児についての追跡調査

先の疫学調査の対照小児のうち東京大都市圏の居住者に再度調査協力依頼を行って、前回同様１週間の個人磁界曝露レベルと小児の寝室の磁界レベルの同時測定を行い、両者を比較する。

1.3　調査２．各種電気機器等の利用による磁界曝露推定についてのモデル研究

主要な家電製品等を利用する場合に発生する磁界による個人曝露がどの程度のレベル範囲にあるかの実態を把握するため、モデル実験により、各種家電製品稼働による屋内の磁界分布やそれによる磁界曝露レベルを調べる。対象とする家電製品には電気毛布、電気カーペット、電気こたつ・ヒータ、エアコン、ＴＶ、パソコンなどである。

1.4 総合解析

以上の調査１と調査２で得られる調査結果のほか、別途、先の疫学調査の結果のうち対照者における電気機器などの利用状況の分布をさらに解析して地域別に電気機器の利用分布を調べ、それら３者のデータを総合して、”バックグランド”レベルの分布と個人磁界曝露の分布の乖離状態を解析するほか、”バックグランド”磁界以外の磁界曝露の小児白血病に対するリスクについて考察する。

２．調査の方法と結果

上記計画に基づいて実施した調査の方法及び結果は以下の通りである。

2.1　調査１．個人磁界曝露調査―疫学調査の対照群のうち東京大都市圏居住の小児を対象とした追跡調査

測定調査責任者　国立環境研究所　兜　真徳

2.1.1. 対象と調査方法

i)　対象者の選出

１都３県で前回疫学調査に参加された対照群（小児白血病及び脳腫瘍症例に対するすべての対照者）の中から 120 名を抽出し、依頼状を郵送して再調査への協力を依頼した。なお、120 名の抽出に当たっては以下の点を考慮した

- 前回の調査からすでに 3 年以上経過しており転居している者が少なからずいる（20-30 才代の転居率は年 10%との報告あり）
- 参加率を 50%と見込み、予定 60 名を確保するため依頼数は１２０程度必要
- 平成 13 年 11 月 1 日当時 0 才児はすでに３才以上となっているので、15 才までを対象とすると、当時の 11～12 才児までに限定することが必要。
- 以上の条件から、東京都だけでなく千葉、埼玉および神奈川を含める必要がある（小児白血病と脳腫瘍の症例に対する対照者は、1 都３県で計 333 名あったが、そのうち 10 才以下は 259 名であった）。
- 前回調査の対象者のうち対照群では、子供の寝室の磁界レベルが 0.4 μT 以上の者は関東では 0 であった（ただし、症例では越える者があった）ので、0.2 μT 以上であった 12 名には全て依頼することにした。残りはそれ以下の磁界レベルであった者の中から、年齢上限と地理的制約（個別訪問調査の制約）などを考慮して全体で 120 名となるまで絞り込んだ。

以上の依頼を通して、60 名の予定より多く７0 名が調査対象となった。これら対象者について個々に戸別訪問して測定調査を進めた。日程調整は電話等で行った。なお、磁界測定は学校等が通常活動している期間の１週間とし、年末年始の休校期間中は対象外としたため、調査は平成 15 年 12 月～平成 16 年 1 月のうち年末年始の休暇期間を除く期間について行った。

なお、家族からの依頼により、対象児が学校等に携帯する場合、担当の先生に機器を管理してもらうための依頼状を家族あるいは対象児から提出してもらった。つまり、学校

内では登校時に機器を担当の先生にあずけ、下校時に再度対象児が受け取って曝露測定を継続することとした。

ii）磁界測定

磁界測定は、先の疫学調査と同様の方法で行った。①子供の寝室における固定点での１週間測定、②小児に携帯させた場合の個人曝露測定、および③屋内外主要ポイント(最も長くいる部屋の中央、寝室の中央と就寝時頭部位置など、また、一戸建ての場合、敷地境界の角、集合住宅は玄関とその反対側の窓の位置など)での短時間測定に分けられる。①と②の磁界測定には EMDEX-Lite を、③の測定には EMDEX-II を用いた。

①と②は同時並行で測定開始後正確に１週間測定することとし、測定間隔は前回疫学調査と同様３０秒とした。（つまり、「子供の寝室の磁界レベル」は、小児の就寝時の頭部付近で近傍に測定結果に影響するような特定の磁界発生源のないところである)。

なお、小児の個人曝露測定については、同時に測定期間中の活動内容（睡眠、居間、台所、その他屋内、電車、車、学校等、その他屋外などの空間別の活動）を示す活動記録を付けてもらった。これをもとに、以下に示すように、それぞれの活動別の分析を行った。

ただし、個人曝露測定においては、測定器を、睡眠中は頭部付近、入浴時は子供部屋に置くことを原則とした。また、学校等においては担当教官の机の上などに保管してもらったことは上述の通りである。したがって、就寝時に電気毛布や電気こたつなどを利用する場合には、実際の曝露レベルはそもそも測定されていないことになる。また、対象児が測定器を身につけて携帯していても、例えば、ヘアードライア利用による頭部の磁界曝露を直接測定している訳ではない。同様のことは、ＴＶや加湿器などによって発生する局所の高磁界レベル部位との位置関係によって測定されるレベルは大きくバラツクことがありうる。これらは本測定法による個人曝露磁界測定の限界でもあり、今後改良されるべき点でもある。

2.1.2 結 果

1）対象者の属性、電気機器利用状況等

対象者 70 名の性別は男 42 名、女 28 名、年齢は 5～10 才であった。すべて通園通学しており、通学時間は片道 3 分～40 分であった。通学手段はバス利用が２名、自家用車利用が 3 名あったが、その他は徒歩であり、地下鉄、電車などの利用者はなかった。

各家庭における電気機器の利用、対象児の電気機器の利用状況については（表１）に示す通りである。

低周波磁界への個人曝露からみると、電気毛布、電気カーペット（ホットカーペットとも呼ばれるが、ここでは電気カーペットに統一）あるいは電気こたつなどは冬季の暖房用に限られものの、利用していれば大きな曝露量をもたらすことが予想される。本調査時にそれぞれの家庭で利用されていた電気カーペットについては、後述するように、スイッ

チオン時の磁界レベルを測定しているが、直近で数十μT を示すものもあった。以上の電気機器のうち、電気カーペット利用者は多く 70 名中 44 名（63%）を占めていたが、電気毛布の利用は１名のみ、電気こたつは 10 名、電気あんかが３名、床暖房が４名であった。

後述する本研究の調査２の結果から、電気カーペットの場合、直近では高レベルを示すが、上に１ｍの距離における磁界レベルは低下している傾向があった。なお、屋内の床上１ｍの空間において高い磁界を発生させるものとしてＴＶと加湿器が主要であった。加湿器の利用は７名（10%）であり、ＴＶを視聴していない子供は少なく、比較的磁界発生の大きいと予想される「従来のブラウン管型」と「最近の平面型」を合わせると 67 名（95%）を占めていた。磁界発生が少ないと予想される「液晶型」は４名であり、未だ一般化していないことが示された。視聴時間は、平日でも４時間以上、週末には８時間以上見ているものが数名あった。また、ＴＶからの距離は、1m以内が９名と 10%を超え、3m以上離れて見ているのは５名であった。

表１：対象家庭および対象児の家電製品利用状況

１.家族が共通して利用するもの

エアコン

無	2	2.9
有	68	97.1

エアコン（台数）

0	21	30.4
1	24	34.8
2	20	29.0
3	3	4.4
5	1	1.5

電気ストーブ（台数）

0	45	64.3
1	19	27.1
2	5	7.1
3	1	1.4

冷蔵庫

有	70	100.0

電気掃除機　（最長２時間まで）

毎日	33	47.1
週３日＋	25	35.7
まれに	12	17.1

電子レンジ

無	3	4.29
毎日	56	80.00
週３日＋	9	12.86
まれに	2	2.86

電子レンジ（利用時間、分）

0	48	68.6
1	1	1.4
1.5	2	2.9
2.5	1	1.4
3	2	2.9
5	5	7.1
10	4	5.7
20	3	4.3
30	2	2.9

40	1	1.4
50	1	1.4

IH ヒータ

無	65	92.9
毎日	1	1.4
週３日＋	1	1.4
まれに	3	4.3

床暖房

無	66	94.3
有	4	5.7

PC（台数）

0	8	11.6
1	43	62.3
2	12	17.4
3	5	7.3
5	1	1.5

食器洗浄機

無	52	74.29
毎日	16	22.86
週３日＋	1	1.43
まれに	1	1.43

電気洗濯機

無	2	2.86
毎日	64	91.43
週３日＋	4	5.71

スタンド型照明器具

無	32	45.71
電球	9	12.86
蛍光灯	29	41.43

２．対象児が利用しているもの

電気毛布　（１２－２月）

有	1	1.4

電気ｶｰﾍﾟｯﾄ

無	26	37.1
子供部屋	5	7.1
子供部屋＋居間	2	2.9
子供部屋＋親寝室	1	1.4
居間	34	48.6
居間＋親寝室	1	1.4
客間	1	1.4

電気こたつ

無	60	85.7
有	10	14.3

電気あんか

無	67	95.7
有	3	4.3

加湿器（冬季の利用のみ）

無	63	90.0
有	7	10.0

ヘアドライアー　（最長１５分）

無	36	51.4
毎日	9	12.9
週３日＋	12	17.1
まれに	13	18.6

ﾍｯﾄﾞﾌｫﾝ

無	63	90.00

毎日	1	1.43
週３日＋	1	1.43
まれに	5	7.14

ｽﾃﾚｵﾗｼﾞｵなど

無	31	44.29
毎日	8	11.43
週３日＋	10	14.29
まれに	21	30.00

TV（家族で見るもの）

無	9	13.2
有	59	86.8

TV タイプ（白黒）

有	0	0.0

TV タイプ（カラー・小型液晶）

有	1	1.4

TV タイプ（カラー・旧来のブラウン管型

有	50	71.4

TV タイプ（カラー・最近の平面型

有	17	24.3

TV タイプ（カラー・最近の液晶型）

有	4	5.7

TV 週日の平均視聴時間（分）

0	4	5.7
60	11	15.7
90	9	12.9
120	19	27.1
150	5	7.1
180	11	15.7
210	3	4.3
240	7	10.0
270	1	1.4

TV 週末の平均視聴時間（分）

0	5	7.3
30	1	1.5
60	6	8.7
90	2	2.9
120	7	10.13
150	4	5.8
180	15	21.7
210	2	2.9
240	8	11.6
300	9	13.0
330	2	2.9
360	5	7.3
480	1	1.5
600	2	2.9

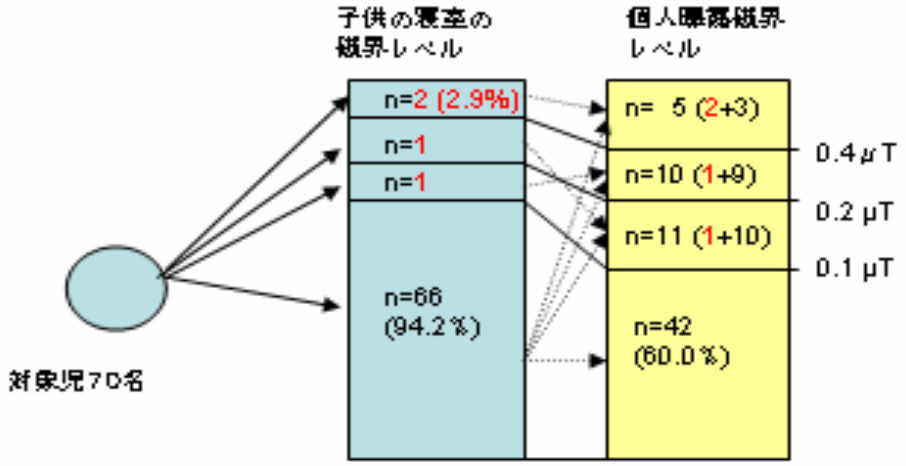
ＴＶを見る時のＴＶからの距離(cm)

0	5	7.6
40	1	1.5
100	8	12.1
120	1	1.5
130	3	4.6
150	17	25.8
160	1	1.5
170	1	1.5
190	1	1.5
199	1	1.5
200	17	25.8
230	2	3.1
250	3	4.6
300	4	6.1
400	1	1.5

2) 子供の寝室の磁界レベルと個人磁界曝露

70 名の「子供の寝室の１週間平均磁界レベル」が 0.4μT を超えていたのは２名、0.2～0.4 μT が１名、0.1～0.2 μT が１名であった。残り６６名はすべて 0.1 μT 未満であった(図１)。なお、同図に示すように個人磁界曝露の１週間平均レベルでは、0.4.4μT を超えていたのは５名、0.2～0.4 μT が１０名、0.1～0.2 μT が９名であった。残り４６名は 0.1 μT 未満であった。

以下、これら子供の寝室の磁界レベルと個人曝露磁界レベルとの対応関係について、これまで小児白血病リスクとの関連で示されている 0.1、0.2 および 0.4 μT の３つのカットポイントを基準として検討してみた。



「子供の寝室の磁界レベル」と個人曝露磁界レベルの関係

i）「子供の寝室の磁界レベル」が 0.1 μT 以上であった 4 例について

上記 0.1 μT 以上であった４名(ID=40,41,50,12)について、それぞれの子供の寝室の１週間の磁界変動パターンと同期間における個人磁界曝露レベルの変動パターンを示したのが（添付資料１の図１）である。なお、上記 4 例については、それぞれの電磁界個人曝露調査測定結果から、それぞれの磁界環境の特徴をまとめると以下のようであった。

① 「子供の寝室の磁界レベル」が最も高値（0.71μT）であった ID=40 の場合、居間の南側に 6600V の配電線が走っており、スポット測定では、子供部屋の中心で 0.92 μT, 就寝時の頭部位置で 0.76 μT であった。また、家屋周辺の磁界測定では、玄関で 0.28 μT であったが、玄関と反対側の窓では 1.24 μT と配電線側で高レベルであった。子供が最も長くいる部屋は居間で、部屋の中心は同様に 0.93 μT, 特記すべき磁界発生源として水槽のエアーポンプがあり、その近傍は 10 μT を超えていた。なお、同期間の平均個人曝

露磁界レベルは 0.65 μT であった。

②「子供の寝室の磁界レベル」が次ぎに高かった(0.40 μT) ID=41 の場合、子供の寝室中央で 0.48μT、就寝時の頭部位置で 0.43 μT であった。一方、敷地境界の角で 0.23～0.75 μT であり、また、こうした高い磁界発生源となっていることが予想された配電線・変圧器近傍の電柱の下（地上 1m）では 47.0 μT が観察された。なお、同期間の平均個人曝露磁界レベルは 0.50 μT であった。

③「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.23 μT であった ID=50 の場合、子供部屋の中心で 0.25 μT、就寝時の頭部位置で 0.24 μT であった。一方、敷地境界の角でも 0.22～0.26 μＴであり、家屋内外を含む地域一帯の磁界レベルが全体的に上昇していた。なお、発生源と考えられる配電線が走る電柱の近傍（地上 1m）では 0.71 μＴであった。この場合、平均個人曝露磁界レベルは 0.19 μT であった。

④「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.1１μT であった ID=12 の場合、子供が最も長くいる居間で 0.12、玄関で 0.11、その反対側の窓で 0.14 であった。寝室の磁界レベル変動パターンは、上記 3 例の場合と類似しており、外部配電線の磁界によって屋内磁界レベルが上昇していることが示唆された。この場合の平均個人曝露磁界レベルは 0.23 μT であった。

以上から、これら４例が示している比較的高い屋内の磁界レベル（疫学調査では“バックグランドレベル”と呼ばれている）は、いずれも、近くを走る配電線が発生する磁界を反映していることはほぼ疑う余地がないと考えられた。とくにバックグランドレベルが 0.4μT 以上の場合には、個人曝露レベルも 0.4 以上である確率が大きいことも示唆された。なお、バックグランドレベルがそれ以下の場合には、近傍の配電線等からの磁界があっても、それ以外の磁界曝露の影響で個人曝露磁界レベルは比較的やや大きく変動する傾向があると言えよう。

ii）個人曝露磁界レベルの分布

全対象児 70 名のうち、上記４名を除く６６名は、「子供の寝室の磁界レベル」がいずれも 0.1 μT 未満であった。そのうち個人磁界曝露レベルも 0.1 μT 未満であったのは 46 名（63%）であった。残り 20 名は個人磁界曝露レベルが 0.1 μT を超えていた。なお、個人磁界曝露レベルが 0.1 μT を超えていた 20 名のうち、曝露磁界レベルが 0.4μＴ以上は５名、0.2-0.4μＴは９名、0.1-0.2μＴが８名であった。このうち、0.4μＴ以上の２例は、「子供の寝室の磁界レベル」が 0.4μＴ以上であったものである。

上述の４名を除く、６６名について、それぞれの「子供の部屋の磁界レベル」と個人曝露磁界レベルの１週間の変動を、個人磁界曝露レベルが 0.4μＴ以上であった３名については（添付資料１の図２）に、0.2-0.4μＴであった９名については（添付資料１の図３）に、また、0.1-0.2 Ｔの８名については（添付資料１の図４）に示す。これらの、とくに個人磁界曝露レベルの変

動に着目すると、週末（土日）のみ異常に高レベルを示している（本節の添付図３）の ID=2 と ID=68 の２名を除いて、それぞれ夕方（帰宅～就寝）あるいは朝（起床～通学）の屋内で磁界レベルが周期的に上昇する一方、屋外活動中は全体的に低下する傾向のあることが示されている。なお、週末に高レベルを示した上記２名のうち１例は、週末だけ高圧送電線近傍にある祖父母の家庭で過ごしていたものであり、もう１例は、そもそも測定が不完全であった例であり、たまたま睡眠中（夜中１時から８時まで）連続して利用していた何らかの電気機器の近傍に測定器を置いて就寝したためと推定された。いずれにしても、これら２名については、異常に高レベルを示した時間帯を除けば、個人磁界曝露レベルの平均値は大きく低下した。

ここで、以上のように、個人曝露磁界レベルが「子供の寝室の磁界レベル」より高値を示している原因を探るため活動空間別の個人曝露磁界レベルを調べてみると、図２のようであった。屋内、とくに居間での磁界レベルが高く、屋内活動時（睡眠時を除く）磁界レベルが 1.0μT を超えるものが４名あった。なお、これらの「子供の寝室の磁界レベル」はすべて 0.1μT 未満であった。

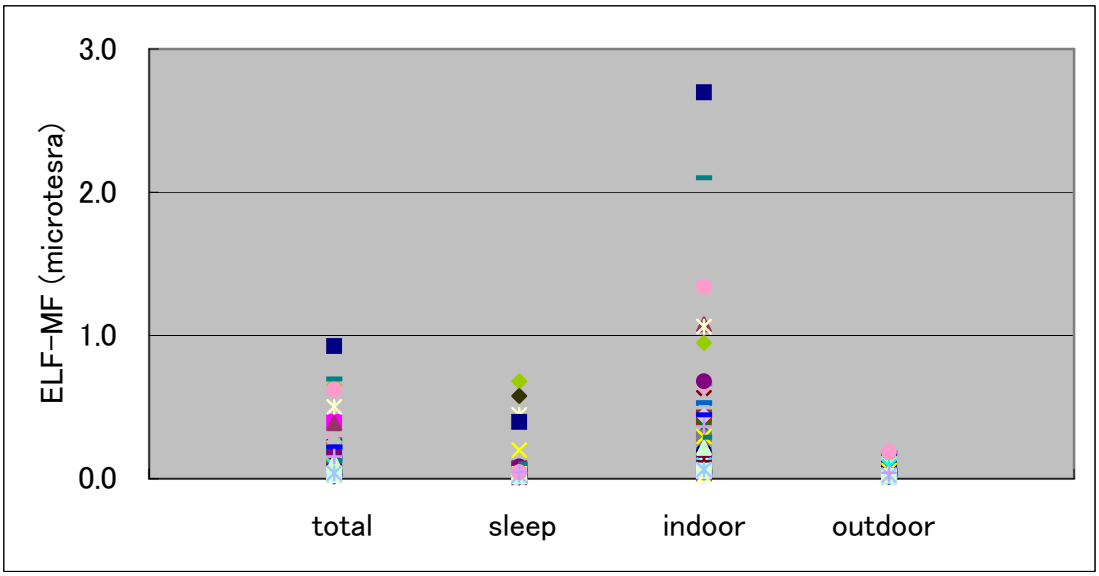


図２：個人曝露磁界レベルの行動空間別分布。屋内、とくに居間での曝露レベルが高いことが知られる。Indoor は睡眠を除く自宅屋内、outdoor は学校・塾など屋外施設内の意。（図中、「子供の寝室の磁界レベル」が 0.1μT を超えていた４名は除外している）

ペットを利用していることは、家庭での曝露レベルが上昇することの必要条件ではあっても、十分条件ではない。なお、上記４６名中１名の家庭で用いられている石油ファンヒーターは直近で100μＴを超えていたが、この場合にも曝露レベルは大きく上昇していなかった。利用する場所からの距離があることによって減衰しているものと推定された。

（図３）に、図２の分布を電気カーペット(EC)の有無別に分けて個人曝露磁界レベルの分布を示した。ここで、電気カーペット利用者は４２名、非利用者は２８名であった。図中で、EC を利用していないのに飛び抜けて高値を示していた赤丸の対象者は ID=40 であり、「子供の寝室の磁界レベル」が 0.4μＴを超えていたケースであった。ここで、電気カーペットの利用者と非利用者の個人曝露磁界レベルについて行動空間別に比較したのが（表２）である。表から明らかなように、個人曝露磁界レベルには、全体でも、睡眠中でも、屋外でも有意差は見られなかったが、自宅屋内でのみ電気カーペット利用者が非利用者より有意高値であった。なお、非利用者の平均曝露磁界レベルは、その他の行動空間における曝露レベルより高い傾向も明らかであった。

以上から、比較的個人曝露磁界レベルが高い場合には、電気カーペットのように高レベルの磁界を発生させ、また、身体の直近でその磁界に曝露されるチャンスが多いものがないことから、電気カーペット使用者群で、非利用者群より高いレベルを示しているケースは、全体的に電気カーペットを利用することに由来することが推定される。それ以外の「子供の寝室の磁界レベル」より高い曝露レベルについては、調査２の結果も考慮すれば、ＴＶの近傍、加湿器の近傍、あるいは短時間ではあるがヘアードライアの利用などによるものがあることがデータからも推定されている。ただし、これらの利用の有無別の個人曝露磁界レベルには有意な差異は認められず、これらの個々の寄与を定量的に示すことは不可能であった。

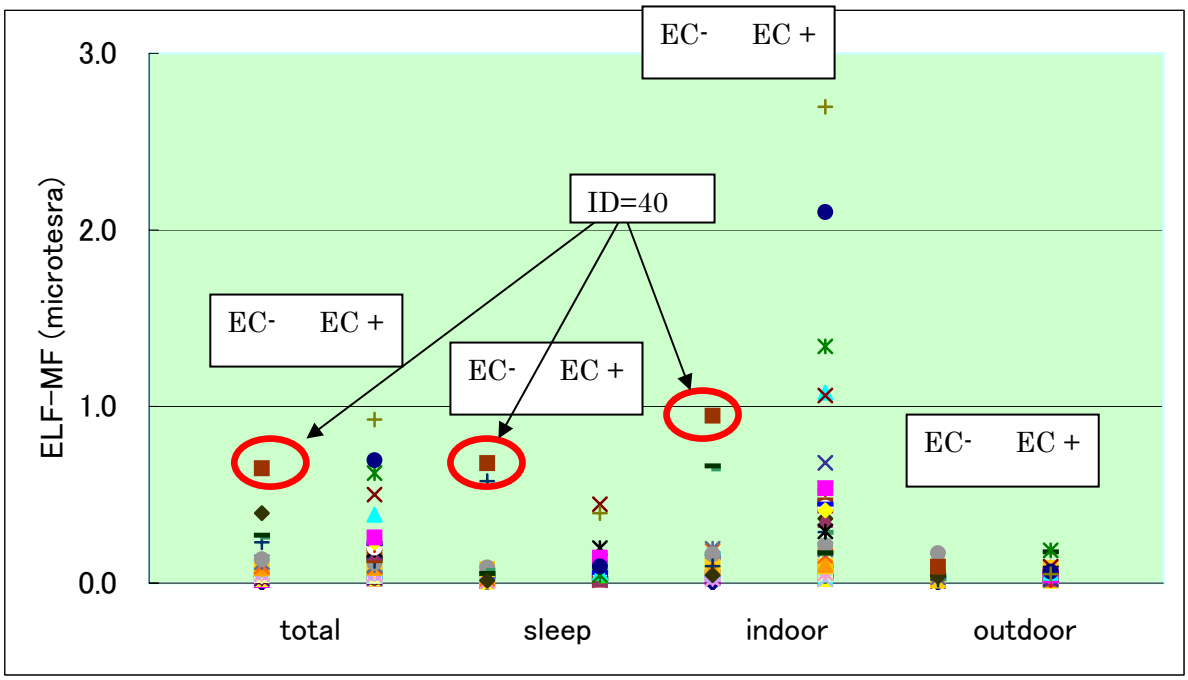


図３：電気カーペット(EC)の有無別及び行動空間別に見た個人曝露磁界レベルの分布。個人曝露磁界レベルは、屋内（indoor）で活動中に高いレベルが多い傾向が明らかである。
なお、outdoor は学校・塾など屋外施設を指す。EC の利用ありは４２名、利用無しは

２８名であった。また、EC の利用がなく、曝露レベルが高い値を示していた図中赤丸の点は、ID=40 で、屋内の磁界レベルが近傍の配電線のために全体的に高レベルであった例である。（ただし、対象は７０名全員）

表２：全体、睡眠中、自宅屋内および屋外施設内別の個人曝露磁界レベルの電気カーペット（EC）利用の有無別の差異に関する比較検討

個人曝露磁界レベル	EC 利用無し 平均（標準誤差）n=28	EC 利用あり 平均（標準誤差）n=42	統計的有意性
Total	0.112 （0.032）	0.166 (0.026)	n.s.
Sleep	0.079 （0.022）	0.068 (0.018)	n.s.
Indoor	0.152 （0.085）	0.382 (0.069)	P=0.041
Outdoor	0.043 （0.007）	0.047 (0.005)	n.s.

注）outdoor は、学校・塾などの屋外施設内の意味である。

iii）まとめ

調査１によって、冬季の東京及び近郊における７０名の５－１０才の小児の個人曝露磁界の実態がほぼ明らかになった。得られた主要な知見として、以下の点が重要と思われる。

１．「子供の寝室の磁界レベル」が、0.4μ以上であった２名の場合、その高レベルの原因は、自宅近傍の配電線・変圧器からの磁界であることが明らかであった。なお、この２名は、前回の疫学調査での測定では、0.2-0.4 μT の範囲にあり、３～４年の間に磁界レベルが上昇していることが推定された（表３）。ただし、70 名中２名（2.9%）は、前回高レベルであった方には低レベルであった方より多く依頼していることから、実際の高レベル者の頻度よりやや高くなっていると思われる。

表３：「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.4 μT 以上であった２名の前回の疫学調査における測定値との比較

	「子供の寝室の平均磁界レベル」					備　　考
Id	前回	今回	前回調査日	前回年齢（才）	高圧送電線との距離	
41	0.271	0.404	2001/7/25	2.7	54 m	屋外レベルが上昇？（家屋周辺レベルも高い）
40	0.373	0.712	2001/11/21	3.6	100＋m	屋外レベルが上昇？（家屋周辺レベルも高い）

２．「子供の寝室の磁界レベル」に比較して、個人曝露磁界レベルは、とくに「起床～通学」まで、及び「帰宅～就寝」まで、また、週末はほぼ全日の場合が多いが、屋内での行動中に高い傾向を示す者が多い。

３．屋内でも居間での曝露レベルが高いものが多く、その原因として電気カーペットによって発生する磁界の影響が最も大きいと推定された。カーペット利用者は４２名、非利用者は２８名であり、カーペット利用時の直近での磁界レベルは 18～47μT と、その他の発生源からの磁界レベルに比較して極端に高かった。

４．しかし、電気カーペット利用者と非利用者では、利用者の個人曝露磁界レベルが有意に高いものの、非利用者の個人曝露磁界レベルも、屋外や睡眠中と比較してやや高い傾向が明らかであった。これら非利用者の個人曝露磁界レベルに、ＴＶ，加湿器、水槽のポンプ、電気こたつ、ドライアー,床暖房などの利用の有無で差異があるかどうかを調べても差異は見られなかった。

５．睡眠中の曝露磁界レベルは「子供の寝室の磁界レベル」と有意な差は見られなかった。睡眠中は頭部近傍に測定器を置くことが原則となっており、電気毛布などを利用する場合には、実際の磁界曝露を反映しえないと予想されるが、本調査の対象児の中で電気毛布利用者は１名に過ぎなかった。

６．学校、塾など屋外での曝露磁界レベルは、自宅屋内曝露磁界レベルに比較すると全体的に低い傾向があった。なお、学校では、担任の先生が登校時～下校時まで測定器を保管していたケースも含まれるが、概ね学校内の磁界レベルを反映しているものと推定される。

2.2. 調査２.各種電気機器等の利用による磁界曝露推定についてのモデル研究

測定調査　東北学院大学　芳賀　昭

目次

１．測定目的　・・・・・・・・・・・・　3
２．測定日　・・・・・・・・・・・・　3
３．測定者　・・・・・・・・・・・・　3
４．測定対象小児の家庭　・・・・・・・・・　3
５．測定器具　・・・・・・・・・・・・　4
６．測定法　・・・・・・・・・・・・　4
７．磁界分布測定結果　・・・・・・・・・・・・　5

測定対象者

１．平塚　調査１の ID=４０＊
２．横浜　調査１の ID=５０
３．吉川　調査１の ID=４１＊
４．上原　調査１の ID=３９
５．月島　調査１の ID=４４
６．三鷹　調査１の ID=４５
７．東大泉　調査１の ID=２５
８．金町　調査１の ID=３２
９．浜田山　調査１の ID=３３
１０．人形町　調査１の ID=３１

＊：「子供の寝室の磁界レベル」が 0.4μT を超えていた２例

８．電気カーペット、TV、加湿器から発生する磁界の距離特性
・・・・・・・・・・・・・ 25
９．検討　・・・・・・・・・・・・・ 31
10．結論　・・・・・・・・・・・・・ 33

１．測定目的

主要な家電製品等を利用する場合に発生する磁界による個人曝露がどの程度のレベル範囲にあるかの実態を把握するため、小児が生活する部屋において各種家電製品稼働による部屋の磁界レベルとその分布を測定し、それによる個人曝露量を推定する

基礎資料を作成する。

調査は、我が国の疫学調査で対照群として調査した小児のうち、東京大都市圏居住者に再度調査協力依頼を行い、参加者を選出した中から 10 件の家庭の子供部屋の磁界分布測定を行う。

２．測定日

2003 年 12 月 20 日～12 月 23 日

2004 年　1 月 10 日～1 月 12 日

３．測定調査責任者

東北学院大学工学部電気情報工学科　芳賀　昭

調査協力者

鹿児島工業高等専門学校 電子制御工学科　鎌田 清孝

測定補助　東北学院大学大学院工学研究科電気専攻

および東北学院大学工学部電気情報工学科　学生 3 名

４．測定対象小児の部屋

表 1 に示すように首都圏居住者 10 家庭であり、対象となる小児が、最も長い時間生活している部屋を対象とした。

表 1　測定対象小児とした家庭一覧

番号	測定家庭所在地	測定日	測定開始時刻	部屋の寸法(m)	建屋	対象者年齢	配電線からの水平距離
1	平塚市広川	12月20日	13:00	3.9×3.5	アパート2階	6歳	1.7m
2	横浜市富士見が丘	12月21日	9:00	3.48×4.37	一戸建2階	6歳	15m
3	吉川市大字保	12月22日	9:00	4.45×4.3	一戸建1階	5歳	2.5m
4	渋谷区上原	12月22日	15:00	4.3×1.97	一戸建2階	10歳	4.3m
5	中央区月島	12月23日	9:00	4.5×3.15	マンション6階	8歳	数十m
6	三鷹市牟礼	12月23日	14:00	3.43×2.5	一戸建1階	10歳	8.0m
7	練馬区東大泉	1月10日	9:00	4.4×2.4	一戸建2階	8歳	数十m
8	葛飾区金町	1月10日	13:00	3.5×2.65	マンション4階	10歳	数十m
9	杉並区浜田山	1月11日	9:00	3.55×2.4	一戸建1階	8歳	10.0m
10	中央区日本橋人形町	1月12日	9:00	3.45×2.5	マンション10階	8歳	数十m

５．測定器具

等方性磁界プローブ（W&G 社製）

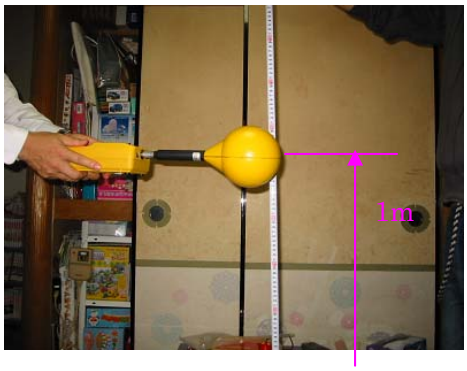
周波数帯域 5Hz～2kH z

3 個のコイルが互いに垂直に配置

６．測定方法

（１）測定点

子供部屋の磁界分布の測定は、床面より 1m の高さで、0.5m 間隔の格子の点で測定し、3 軸の合成値の実効値を測定する。TV 等家電製品の前面 0.5m 以内では、さらに細かく測定する。測定間隔は、現場の状況により判断する。



（２）測定パターン

①家電製品の電源をすべて落とした場合の磁界分布を測定する。

②部屋のすべての家電製品を通常の使用状態で運転した場合の分布を測定する。

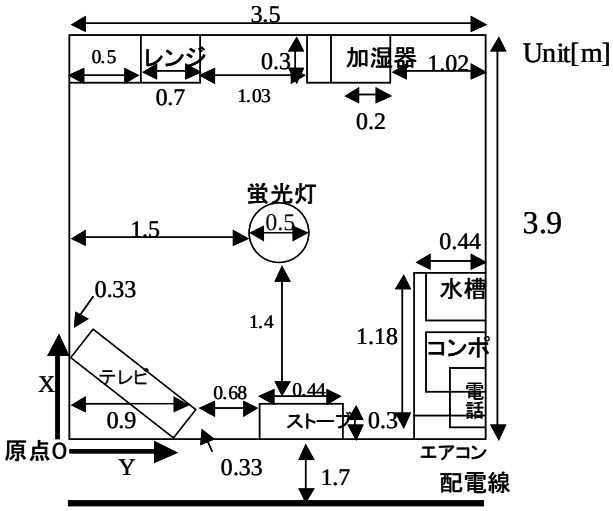
（３）データ解析方法

測定値だけでは、磁界分布のコンター線表示や磁界の距離特性を求めるにはデータ数が不十分なので 0.1m間隔のデータになるように補間を行なう。

７．測定結果

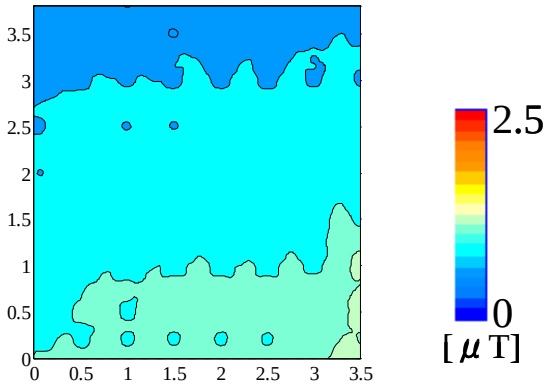
以下に 10 件の子供部屋の配置図、子供部屋の内外の写真、家電製品電源 ON、OFF 時の磁界分布のコンター線図を示す。

（1）平塚市

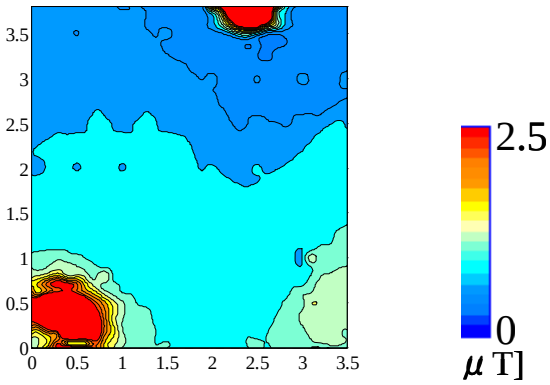


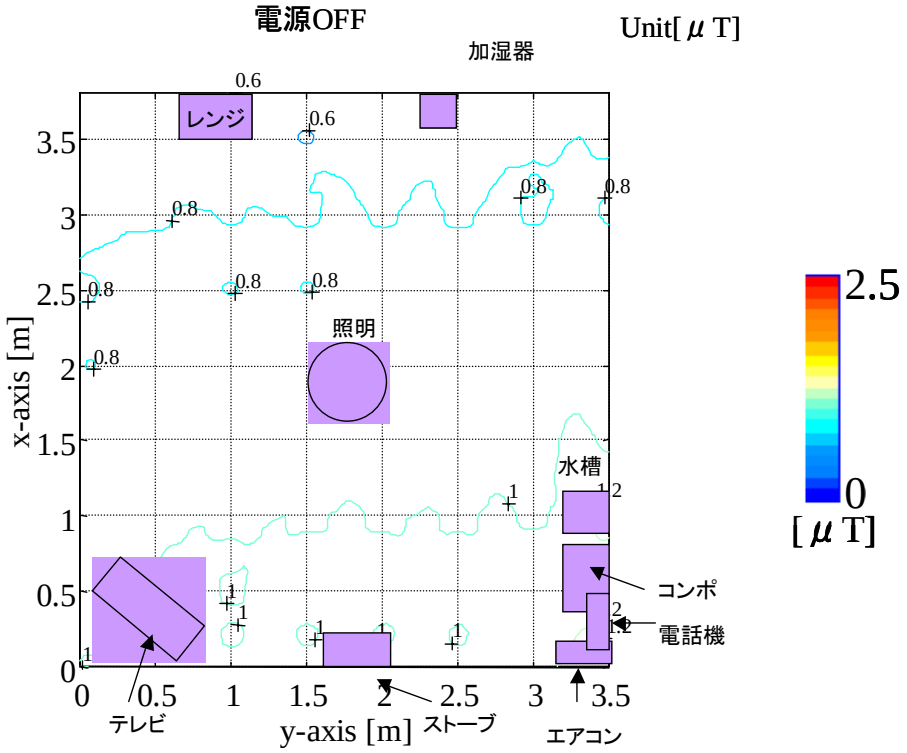
測定対象の部屋

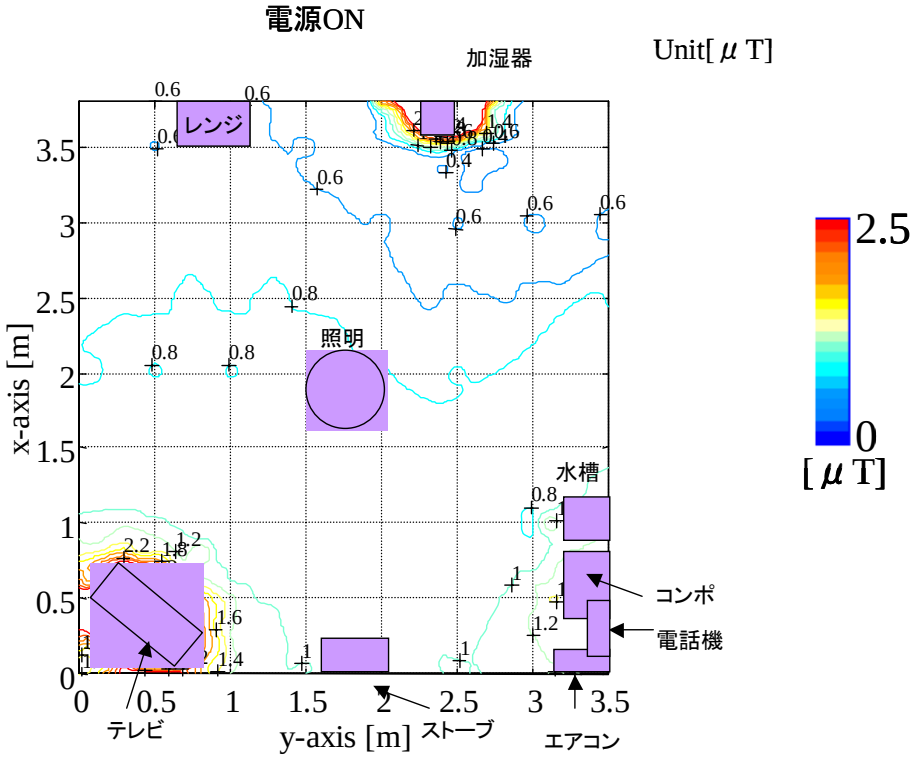
電源 OFF



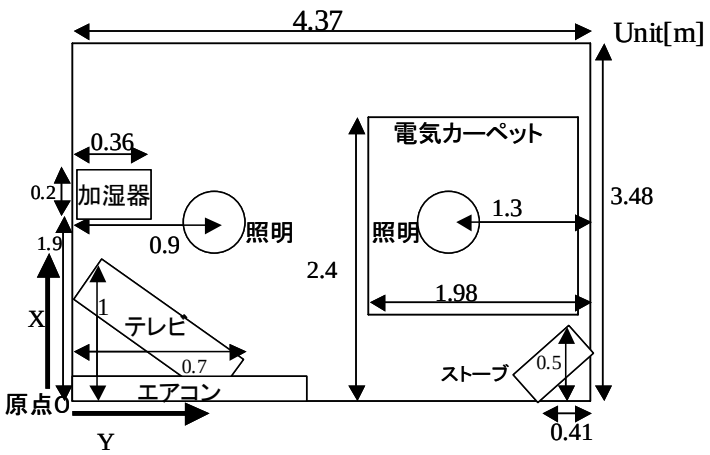
電源 ON

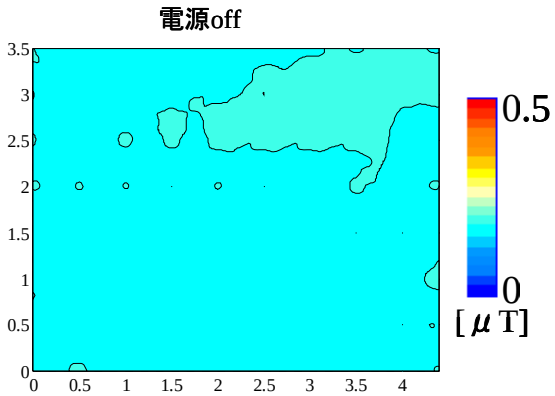


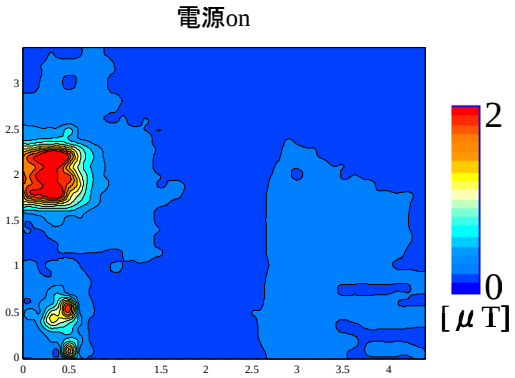

電源OFF
Unit[μT]
加湿器
レンジ
照明
水槽
コンポ
電話機
テレビ
ストーブ
エアコン
x-axis [m]
y-axis [m]
2.5
0
[μT]


電源ON
Unit[μT]
加湿器
レンジ
照明
水槽
コンポ
電話機
テレビ
ストーブ
エアコン
x-axis [m]
y-axis [m]
2.5
0
[μT]

（２）横浜

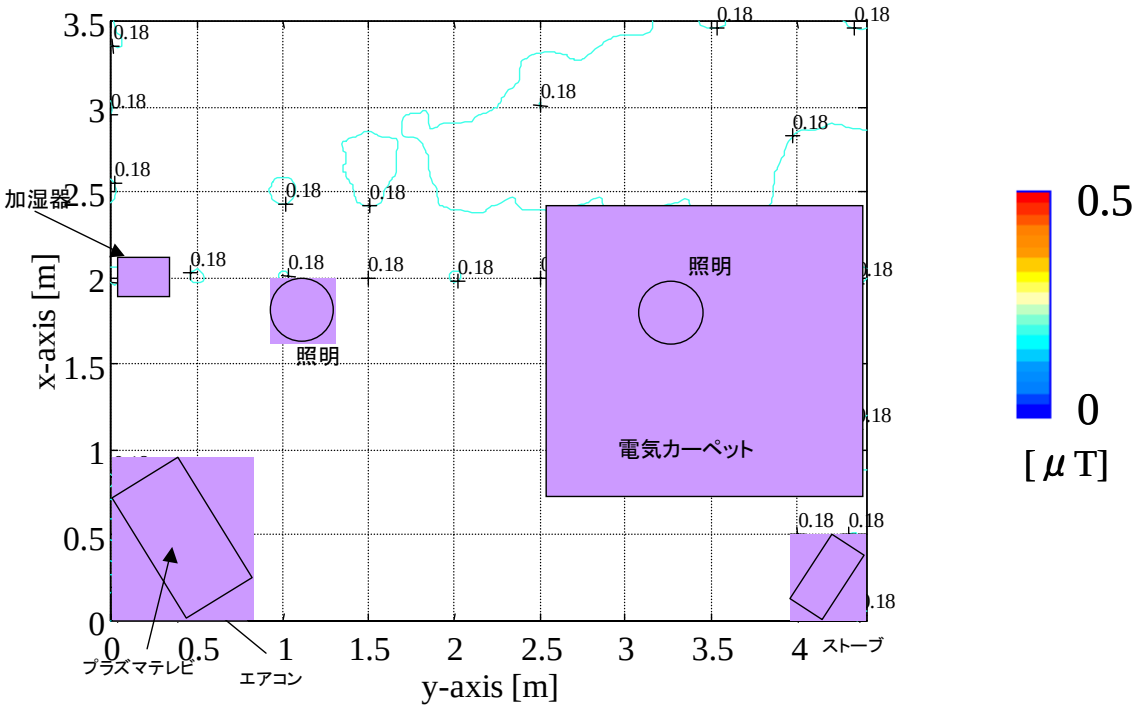

4.37
Unit[m]
0.36
0.2
加湿器
0.9
照明
1.9
X
1
テレビ
0.7
エアコン
原点O
Y
電気カーペット
照明
1.3
3.48
2.4
1.98
ストーブ
0.5
0.41


電源off
0.5
0
[μT]


電源on
2
0
[μT]

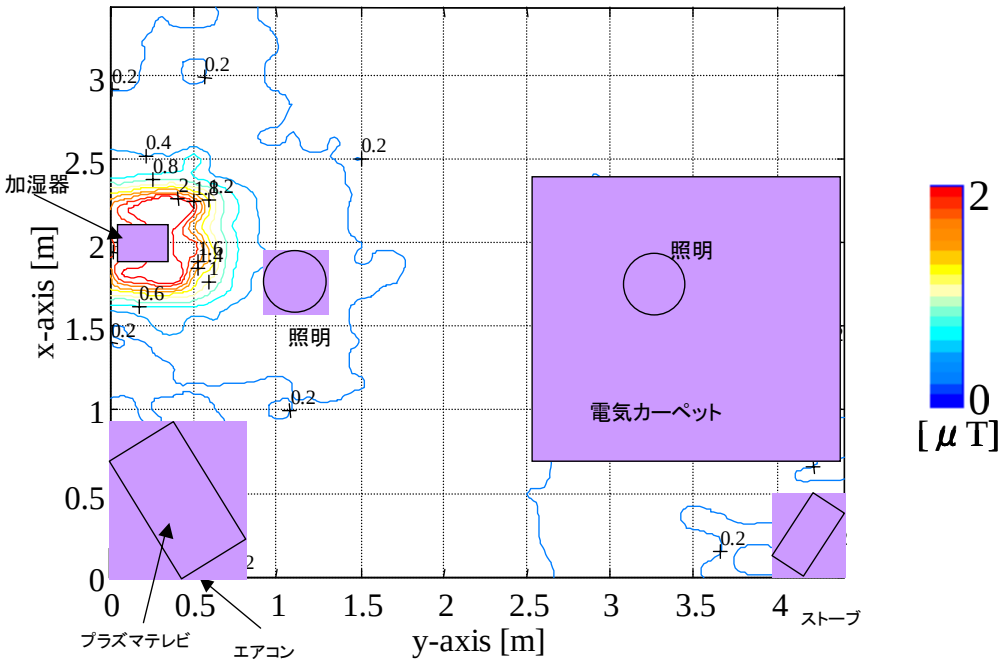
電源OFF

Unit[μT]

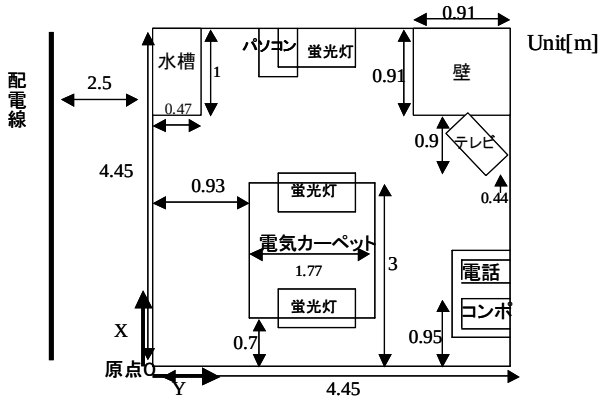


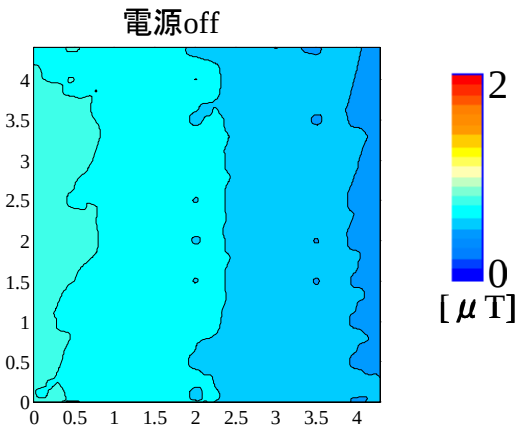
電源ON

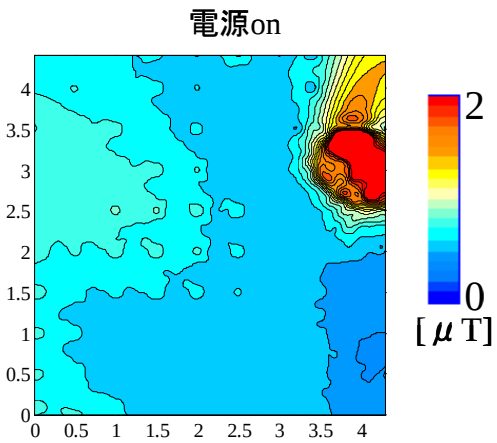
Unit[μT]



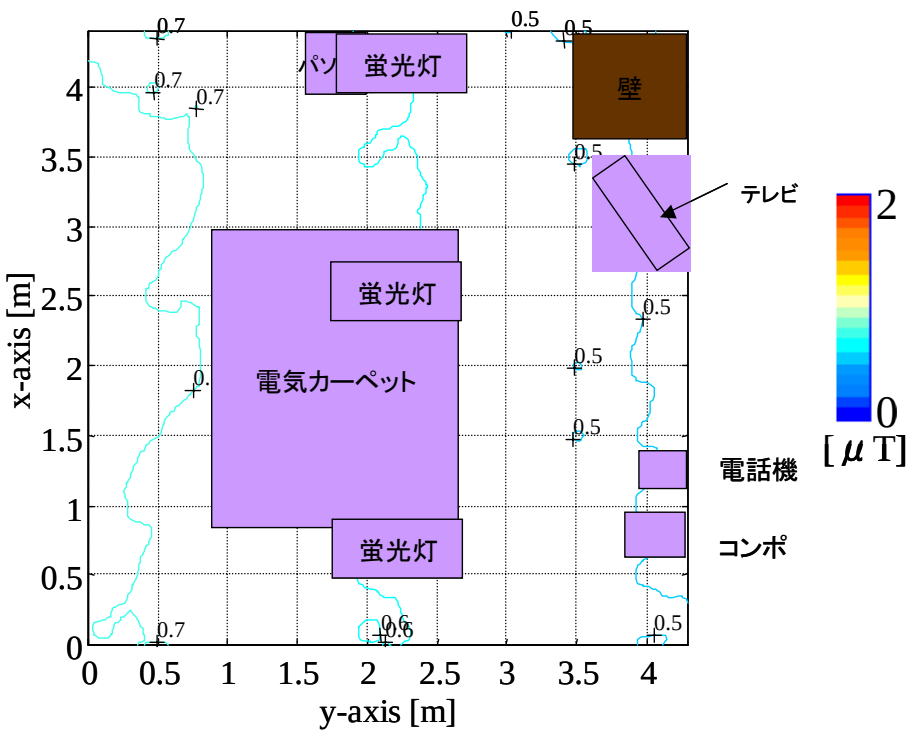
３）吉川


0.91
Unit[m]
配電線
2.5
水槽
1
0.47
パソコン
蛍光灯
0.91
壁
0.9
テレビ
0.44
4.45
0.93
蛍光灯
電気カーペット
1.77
3
蛍光灯
電話
コンポ
X
0.7
0.95
原点O
Y
4.45

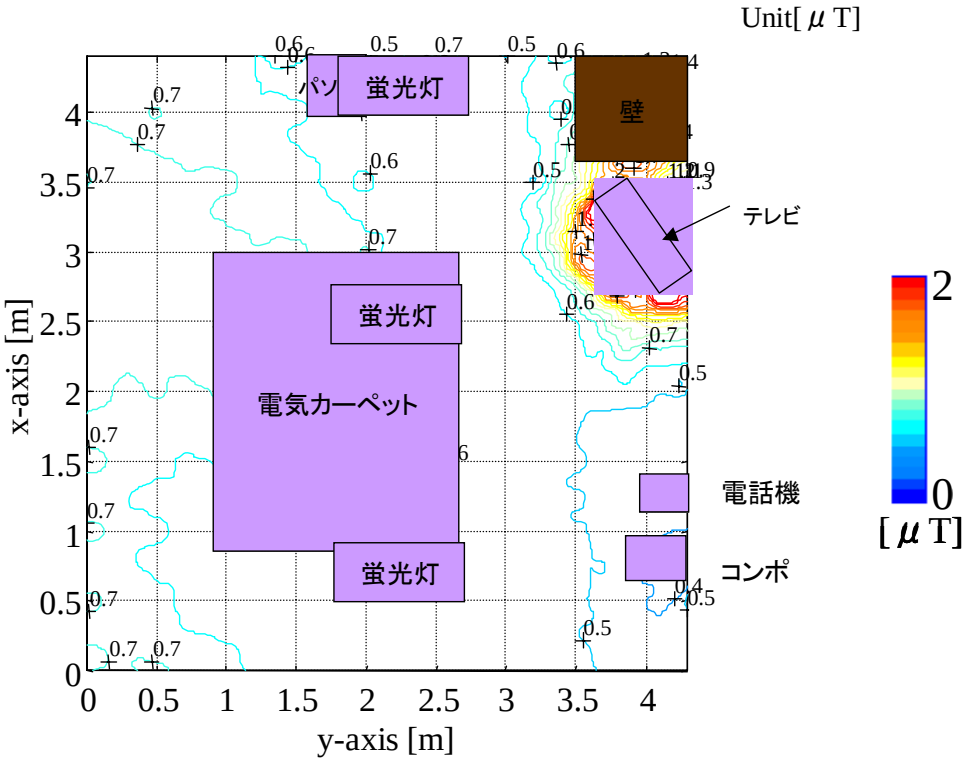

電源off
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
2
0
[μT]


電源on
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
2
0
[μT]

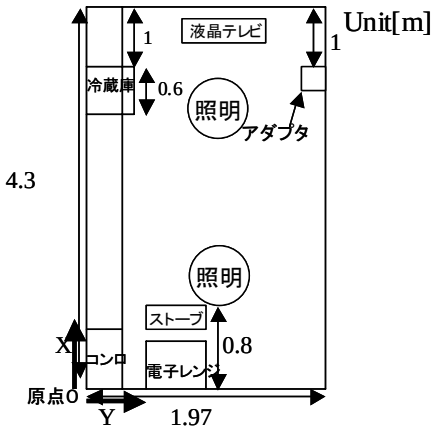
電源OFF

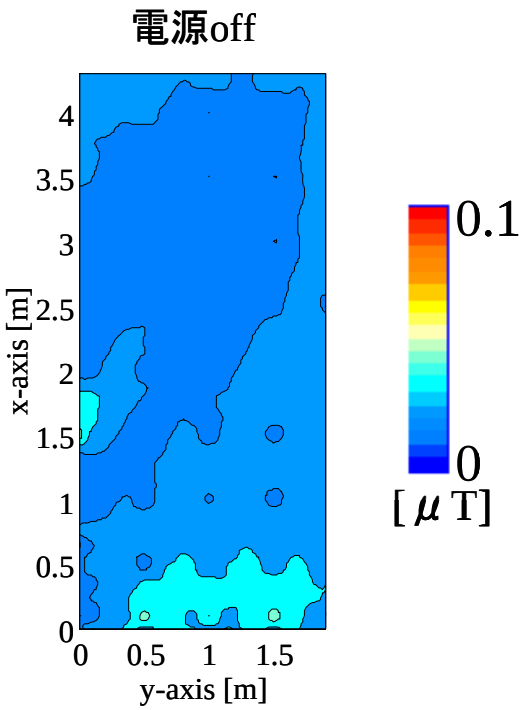

Unit[μT]
蛍光灯
壁
テレビ
蛍光灯
電気カーペット
電話機
蛍光灯
コンポ
x-axis [m]
y-axis [m]
2
0
[μT]

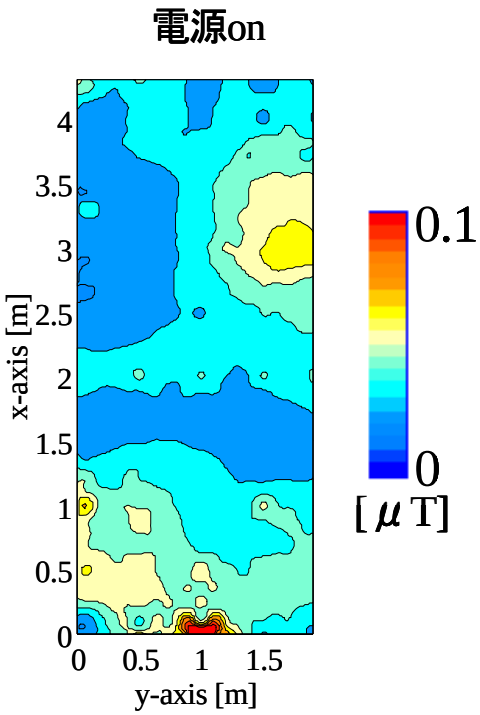
電源ON


Unit[μT]
蛍光灯
壁
テレビ
蛍光灯
電気カーペット
電話機
蛍光灯
コンポ
x-axis [m]
y-axis [m]
2
0
[μT]

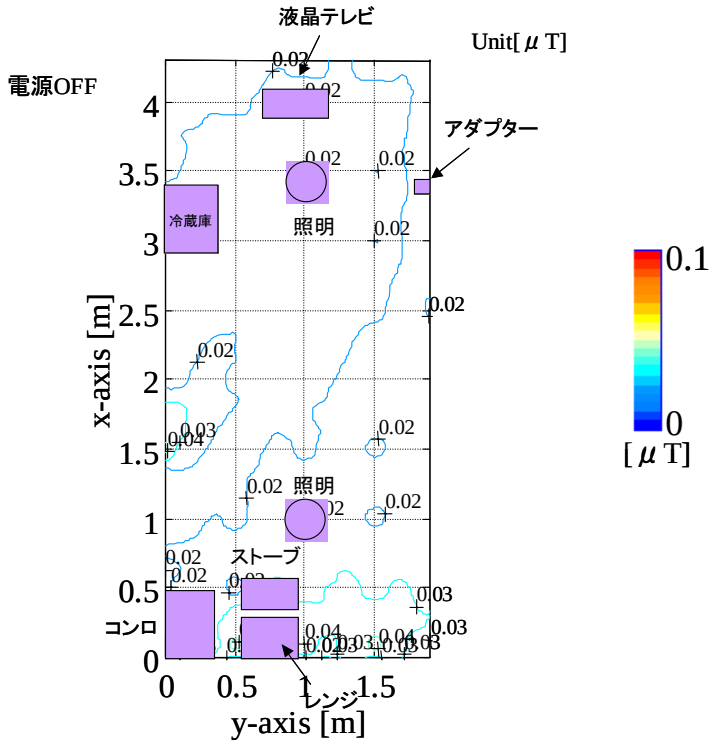
（４）上原


Unit[m]
液晶テレビ
1
1
冷蔵庫
0.6
照明
アダプタ
4.3
照明
ストーブ
0.8
X
コンロ
電子レンジ
原点O
Y
1.97

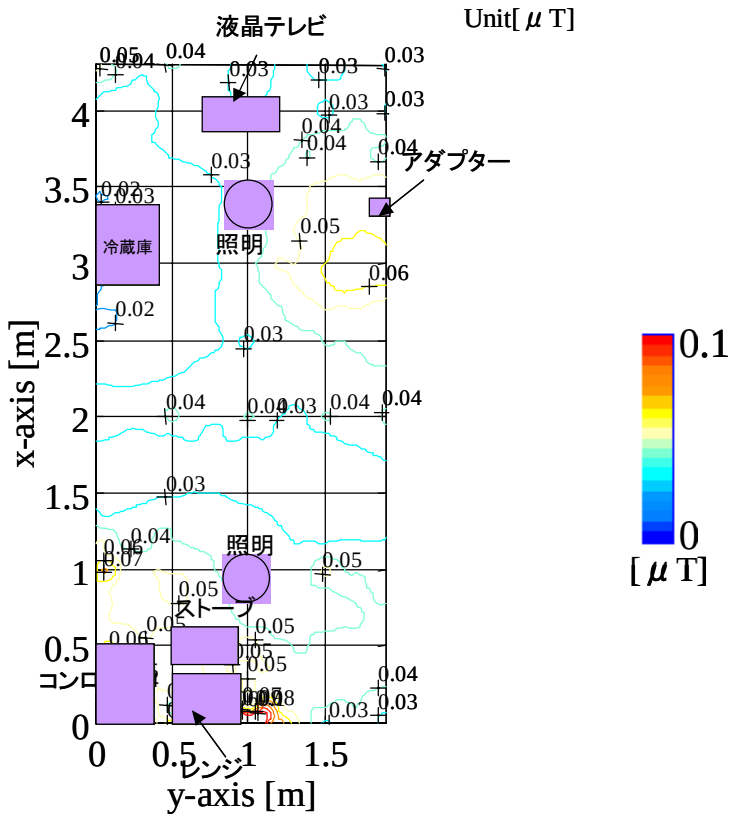

電源off
x-axis [m]
y-axis [m]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
0.1
0
[μT]


電源on
x-axis [m]
y-axis [m]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
0.1
0
[μT]

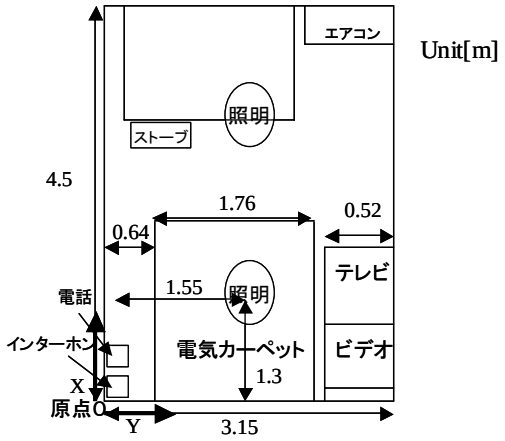
電源OFF

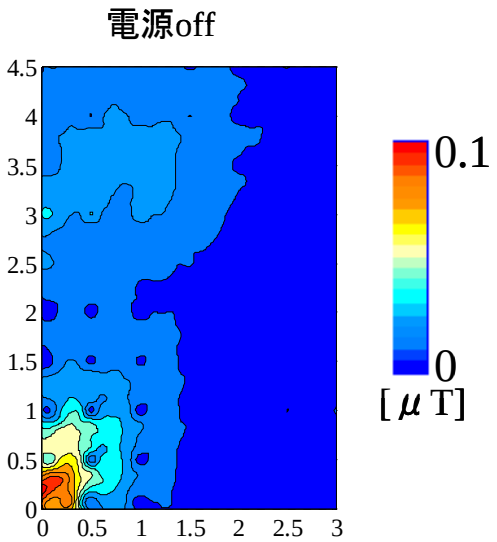

液晶テレビ
Unit[μT]
電源OFF
アダプター
冷蔵庫
照明
ストーブ
コンロ
レンジ
x-axis [m]
y-axis [m]
0.1
0
[μT]

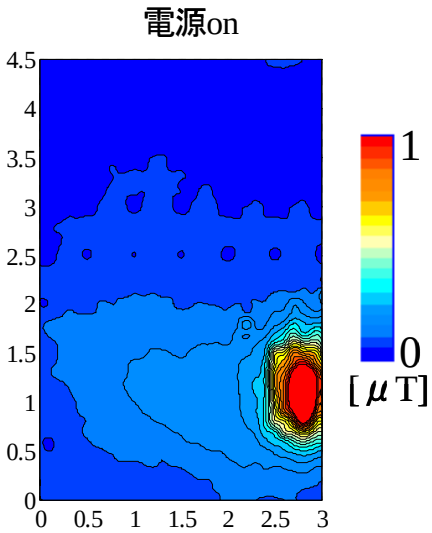
電源ON

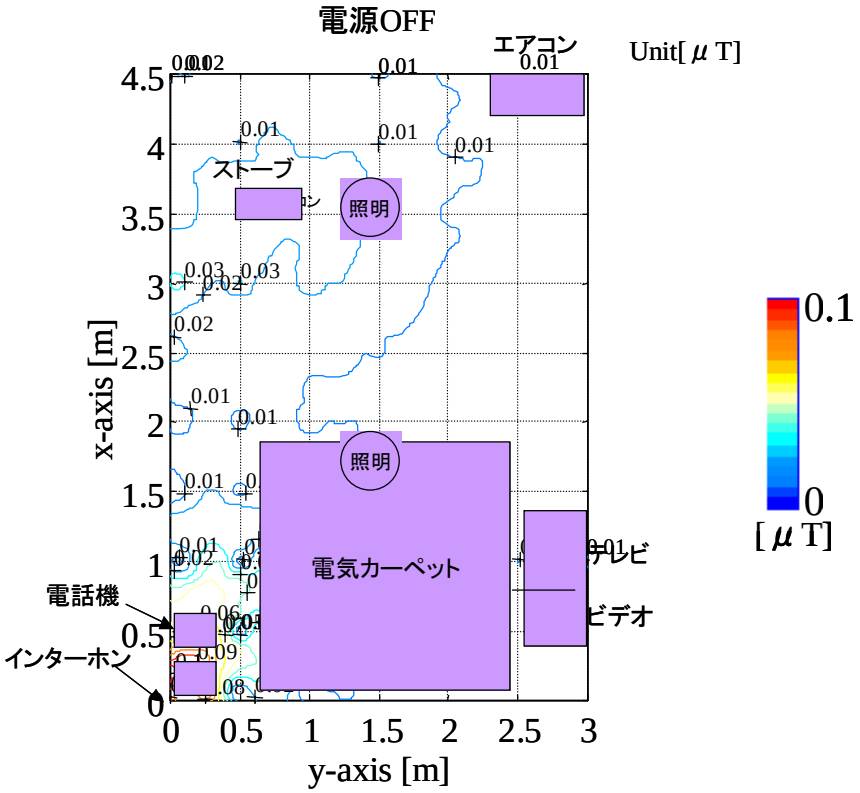

液晶テレビ
Unit[μT]
アダプター
冷蔵庫
照明
ストーブ
コンロ
レンジ
x-axis [m]
y-axis [m]
0.1
0
[μT]

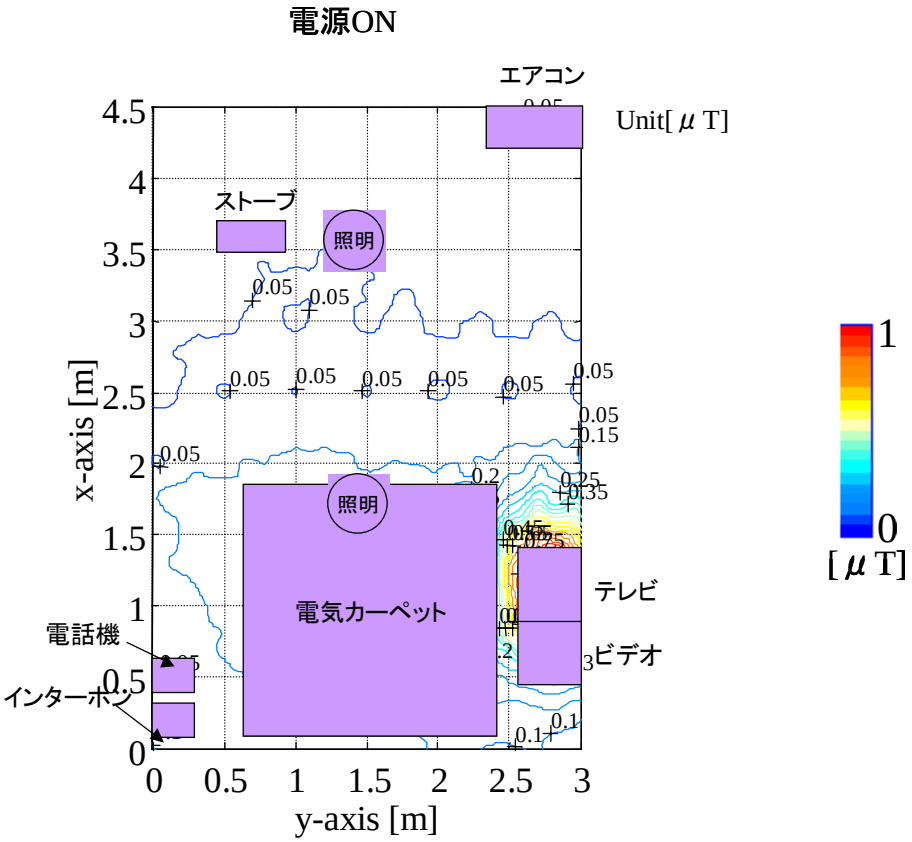
（５）月島


エアコン
Unit[m]
照明
ストーブ
4.5
1.76
0.52
0.64
テレビ
1.55
照明
電話
インターホン
電気カーペット
ビデオ
1.3
X
原点O
Y
3.15


電源off
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3
0.1
0
[μT]


電源on
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3
1
0
[μT]


電源OFF
エアコン
Unit[μT]
ストーブ
照明
照明
電気カーペット
テレビ
ビデオ
電話機
インターホン
x-axis [m]
y-axis [m]
0.1
0
[μT]


電源ON
エアコン
Unit[μT]
ストーブ
照明
照明
電気カーペット
テレビ
ビデオ
電話機
インターホン
x-axis [m]
y-axis [m]
1
0
[μT]

２－２：超低周波磁界への諸外国の対応

２－２－１：WHO の動向

ＷＨＯは超低周波の電磁界の健康影響に関するクライテリアの改訂を２００４年に行う方向で活動を展開している。それらすべての活動内容は調べられないので、以下、ＷＨＯプロジェクト関連で国立環境研究所が関与した会議等について列挙しておくことにする。

①「生活環境中の電磁界リスクのガバナンス」と題するワークショップを、国立環境研究所と JST が主催で、東京で２００３年９月に実施した。これにはＷＨＯのプロジェクト担当であったカイフェッツ博士と、小児白血病の疫学調査のとりまとめをしているカロリンスカ研究所のオルボーン教授を招聘し、我が国の疫学調査結果の概要について紹介した。オルボーンは、これまでの小児白血病の疫学調査のプール分析結果についてさらにバイアス等の検討をした結果、それらの影響ではリスクはなくならないことが示唆された。また、ＷＨＯからは不確実性の高いリスク対応のあり方に関する１つの考え方として「予防的枠組み(Precautionary Framework)」についての説明があった。

（添付資料２：ワークショップで用いられた資料集）

②ＷＨＯの小児白血病の疫学研究に関するワーキンググループ会議

上記ワークショップ会議に引き続きつくば国際会議場において、表記のＷＧ会議を環境省主催、国立環境研究所担当で開催した。同会議は、クライテリア・ドキュメントのまとめに関して、これまでの疫学調査結果を再評価するために、我が国での調査結果についても含めて、クローズドで関連研究者が討議することが目的であった。

②Asia-Pacific EMF Conference

Electromagnetic Fields Research, Health Effects, and Standard Harmonization、January 26-30, 2004, Bangkok (Four Seasons Hotel), Thailand

ＷＨＯは２００４年１月に、NATO とタイ政府と共同で表記の会議をバンコクで開催した。表題にあるように現在諸国間で違いの大きい「基準」を今後統一すべきではないか、との提案が１つの目的であった。関連して、（添付資料３）に示すような、「基準」に関するドキュメント案を提案した。ただし、同添付資料は、国立環境研究所が仮訳したものである。

なお、会議において、ＷＨＯとしては、今後、この「基準」の作成を、国際的規制機関とされる IEEE が主体となってすすめることを示唆したことは、重要な点の１

つと思われた。

なお、今後の会議予定として、本年６月にイスタンブールでＷＨＯ諮問委員会に引き続いて、「電磁界に対する小児の感受性」と題するワークショップを開催するとの報告があった。ちなみに、このワークショップは、上記のつくばでのＷＧ会議に続く第２回目の疫学調査結果を中心とした議論を行うために計画されていたものである。

２－２－２：諸外国の動向

ＷＨＯは、とくに超低周波電磁界についての安全ガイドラインとしては、国際非電離放射線防護委員会（ＩＣＮＩＲＰ）が報告しているものを採択する方向で動いており、「基準」としてはＩＥＥＥがまとめるとしている一方、このガイドライン以下の電磁界については、「予防的枠組み」の概念手法で可能な範囲で対応する可能性を探っている。

こうした中、ロシアや東ヨーロッパ諸国では、より低レベルの安全ガイドラインの継続を主張しており、合意が得られていない。各国の中でもリスク対応に対して極端な規制をすべきと主張する人もある。ＷＨＯが超低周波磁界によって小児白血病リスクがあるかも知れないと判定したこと等を背景として、多少とも、リスクへの予防的対応を巡って、さまざまな議論が行われている国も少なくない。

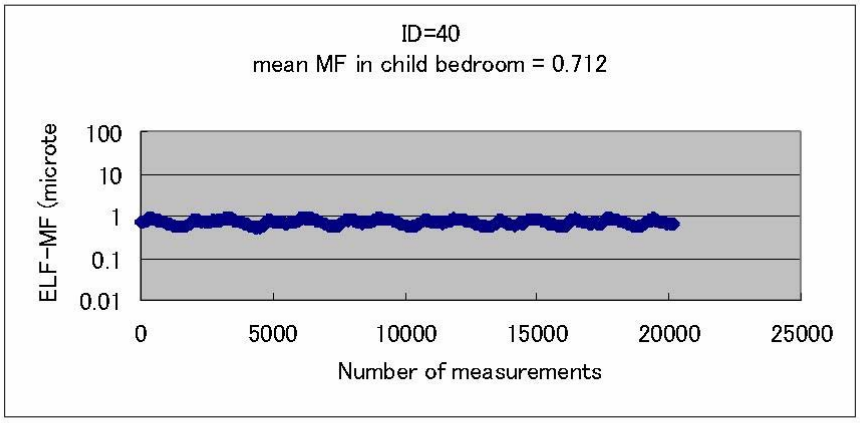
一方、スウェーデンやスイスなどはすでに「慎重なる回避」あるいは「予防原則」に沿って対応するとしてきた。最近の動向として、研究レベルとして、オランダや韓国などでは高圧送電線周辺の人口推定や学校生徒の個人曝露調査を進めているところもある。また、オーストラリアでは極端な住民反応を背景として、電磁界のリスク研究専門の研究所が設立されている状況もある。

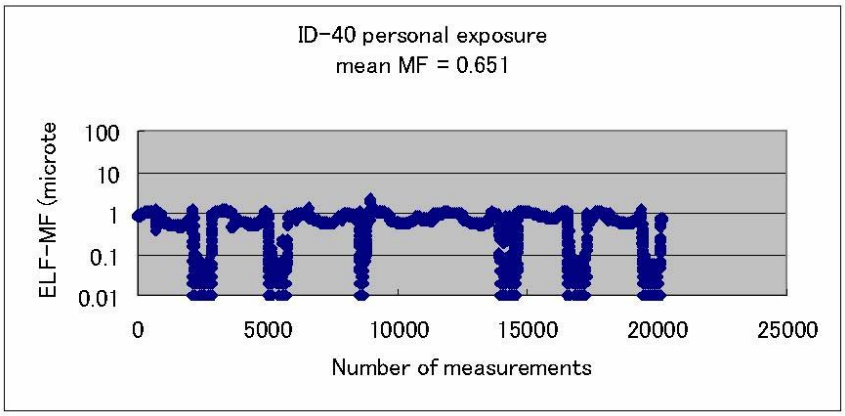
最近の諸外国の具体的対応状況においては本年６月のＷＨＯプロジェクトの諮問委員会で報告されことが予定されている。

添付資料１

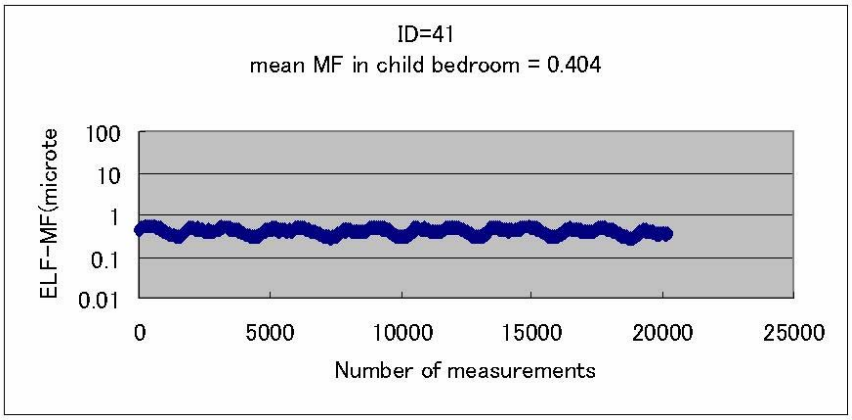
調査１.個人磁界曝露調査―疫学調査の対照群のうち東京大都市圏居住の小児を対象とした追跡調査の測定結果

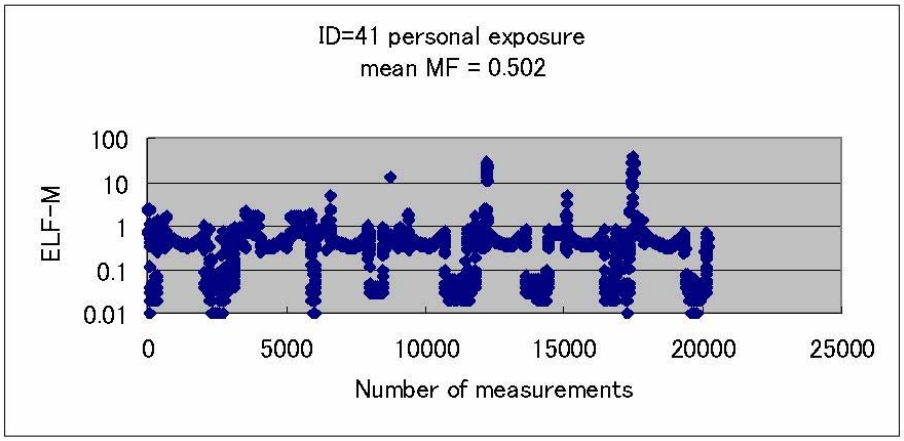
図１：「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.1μT 以上であった４例の「子供の寝室の磁界レベル」と個人磁界暴露レベルの変動を示す。なお、測定開始日時は異なる。


ID=40
mean MF in child bedroom = 0.712
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

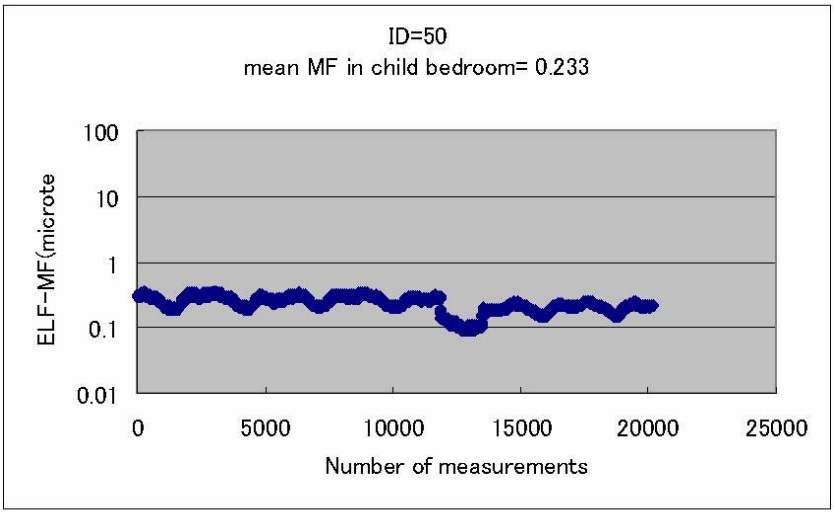

ID-40 personal exposure
mean MF = 0.651
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

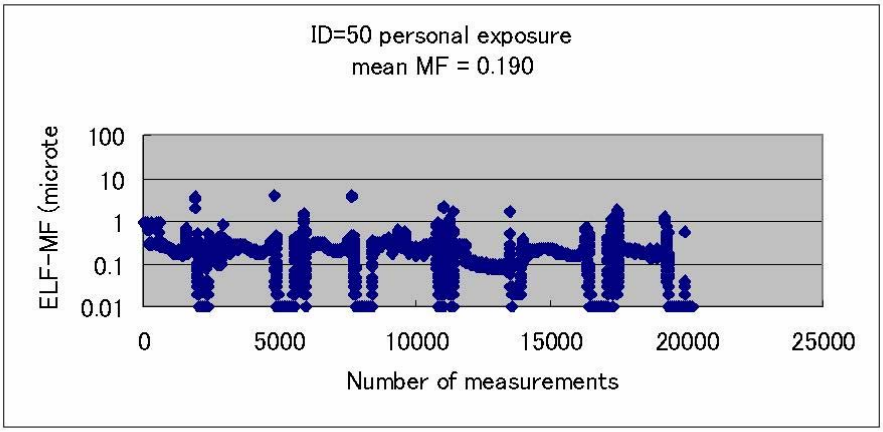
EC（－）


ID=41
mean MF in child bedroom = 0.404
ELF-MF(microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

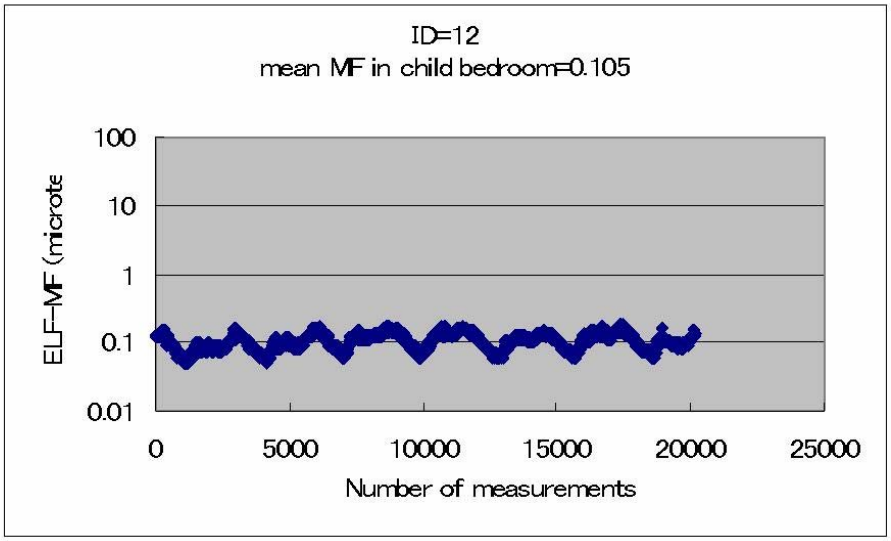

ID=41 personal exposure
mean MF = 0.502
ELF-M
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

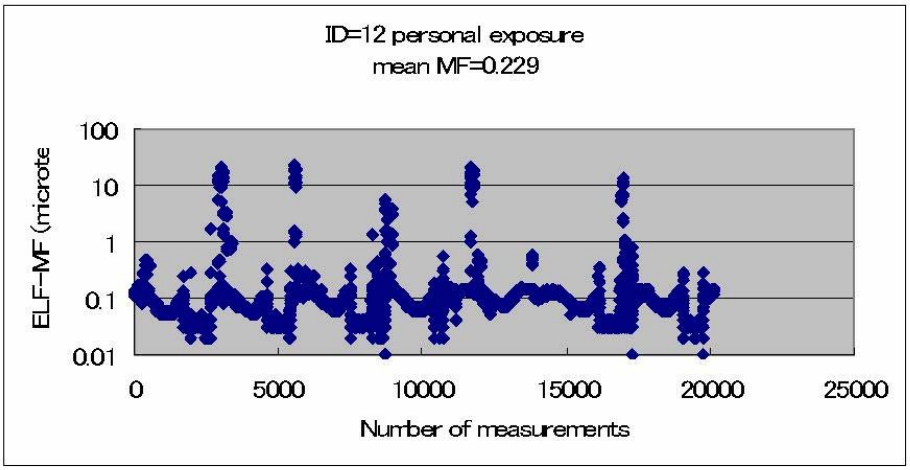
EC（+）


ID=50
mean MF in child bedroom= 0.233
ELF-MF(microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=50 personal exposure
mean MF = 0.190
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

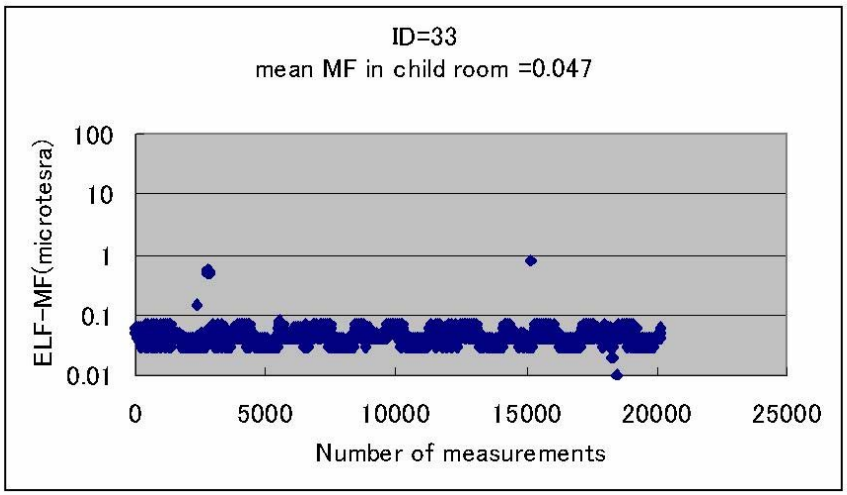
EC（＋）　＋　電気ストーブ

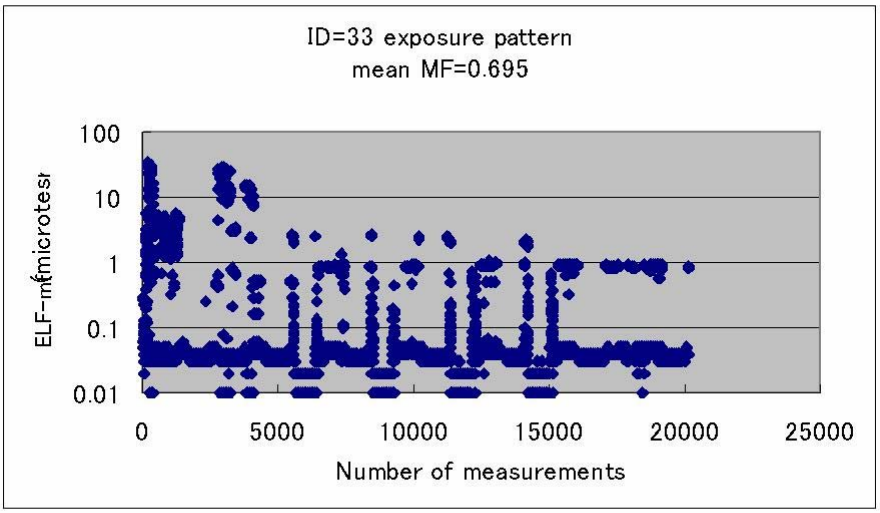

ID=12
mean MF in child bedroom=0.105
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=12 personal exposure
mean MF=0.229
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

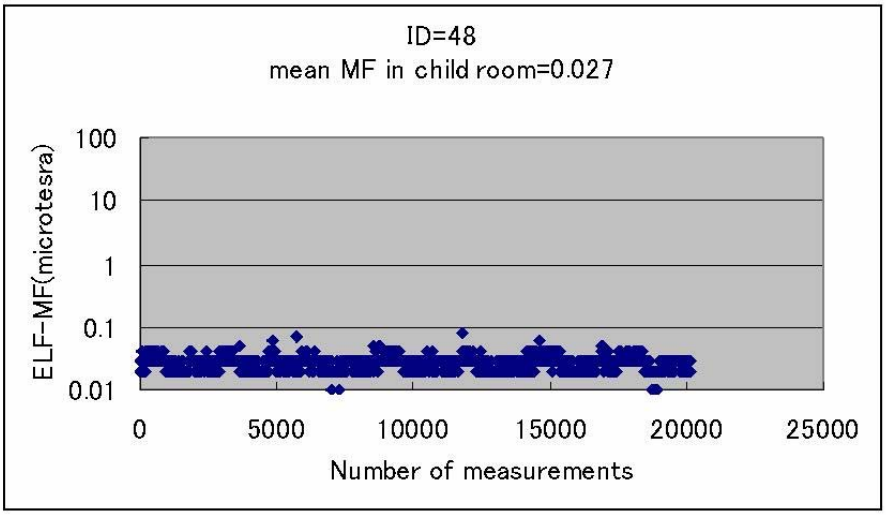
EC（＋）

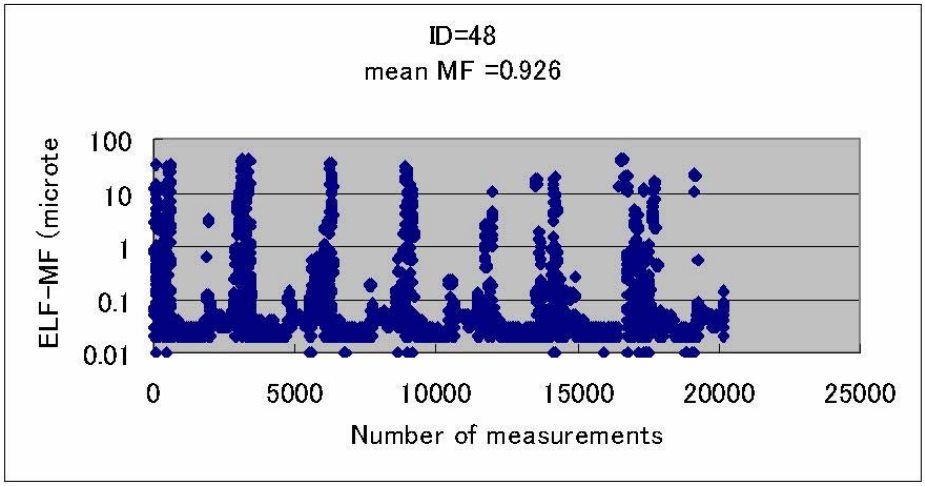
図２：「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.1μT 未満で、個人磁界暴露レベルが 0.4μT を超えていた３例の「子供の寝室の磁界レベル」と個人暴露レベルの変動を示す。なお、曝露磁界が 0.4μT 以上で、かつ「子供の寝室の磁界レベル」も同様であった２例は、
（添付図１）に示す。


ID=33
mean MF in child room =0.047
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

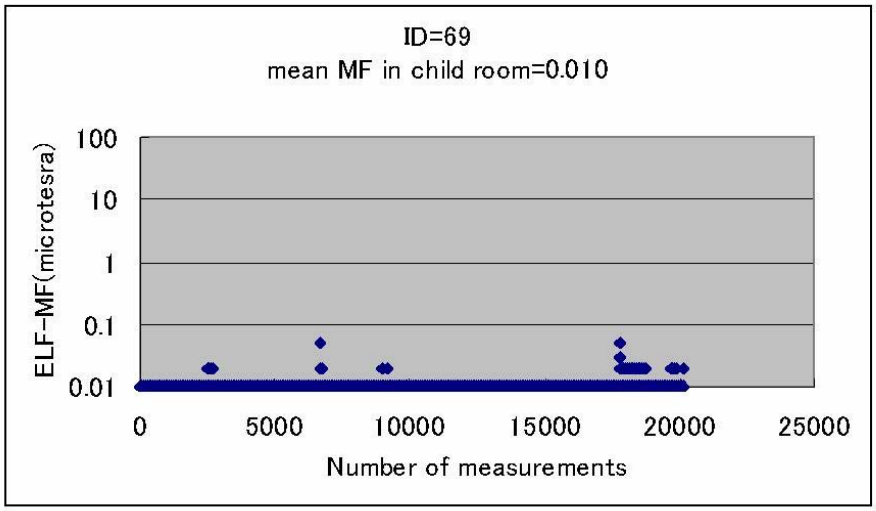

ID=33 exposure pattern
mean MF=0.695
ELF-MF(microtesr
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

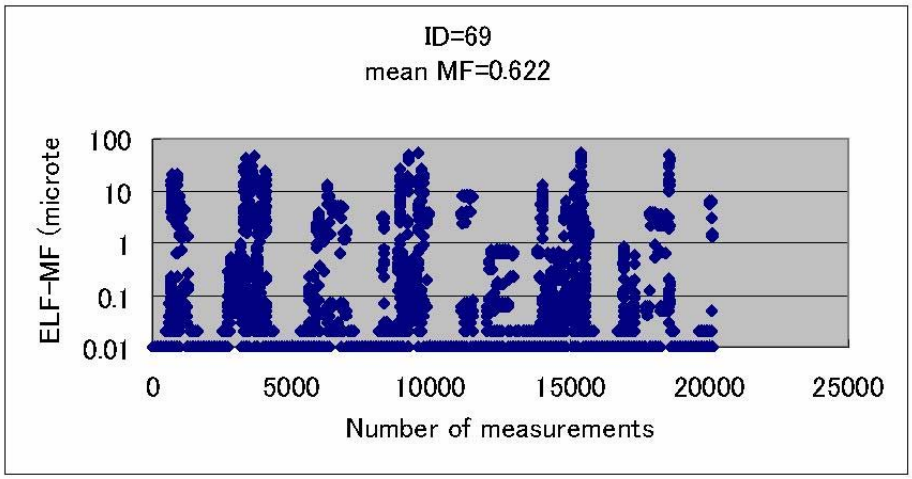
EC 有り　＋電気ストーブ


ID=48
mean MF in child room=0.027
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=48
mean MF =0.926
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

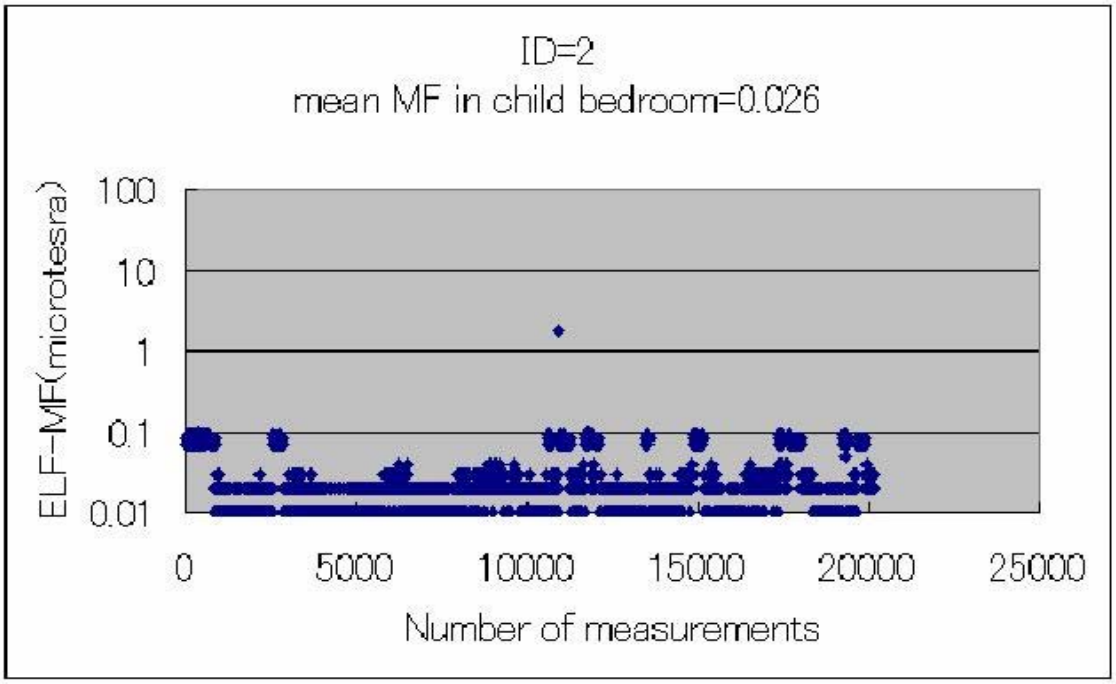
EC（+）

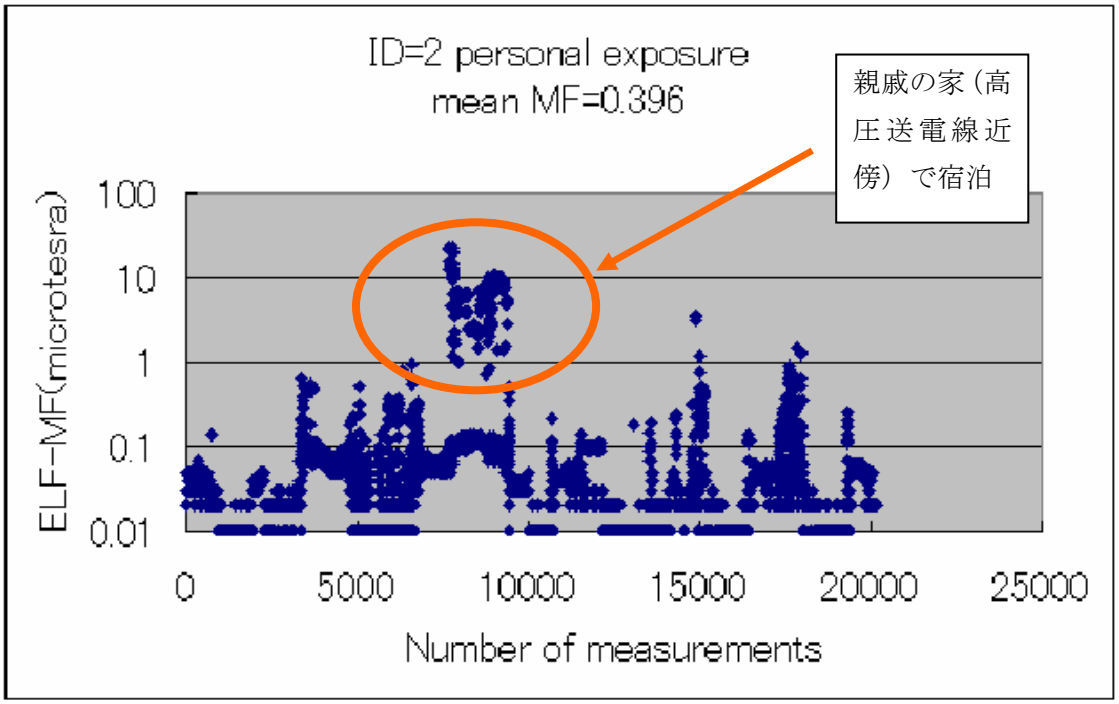

ID=69
mean MF in child room=0.010
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=69
mean MF=0.622
ELF-MF (microte
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

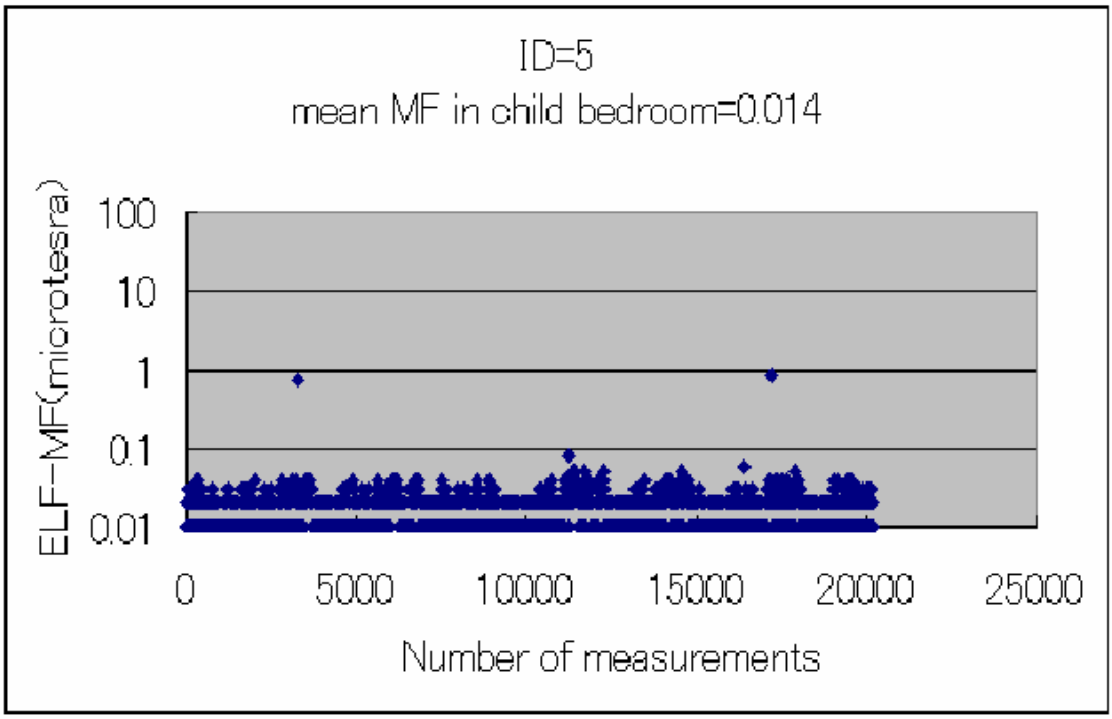
EC（+）

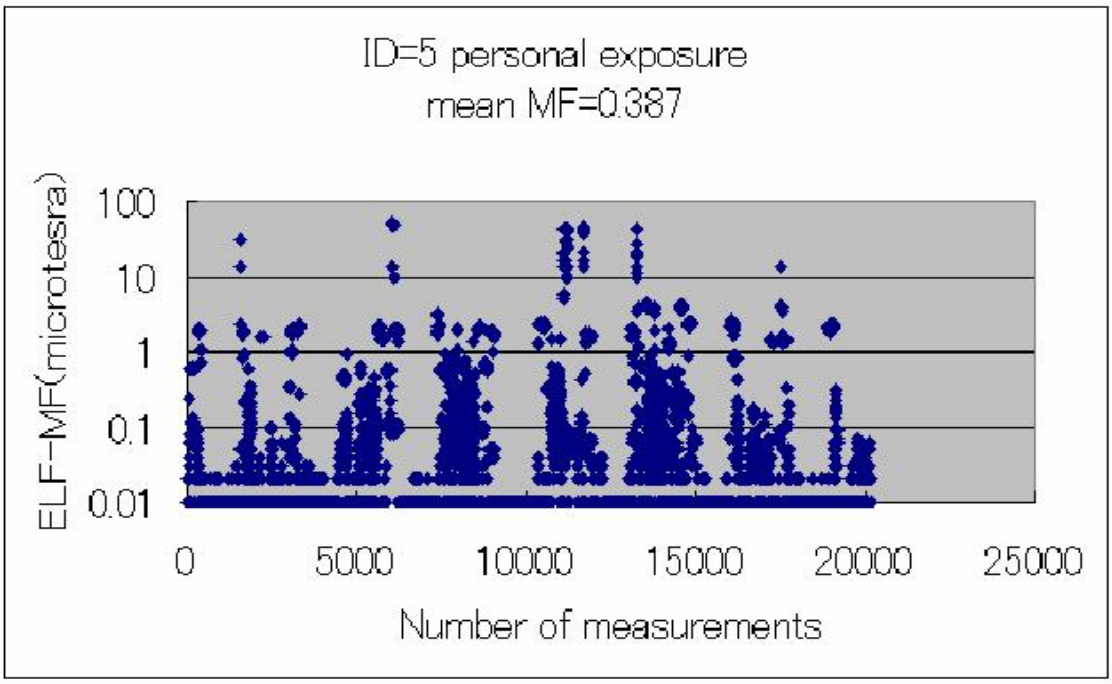
図３：「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.1 μT 未満で、個人磁界曝露レベルが 0.2-0.4μT であった１０例の個人曝露レベルの変動を示す。



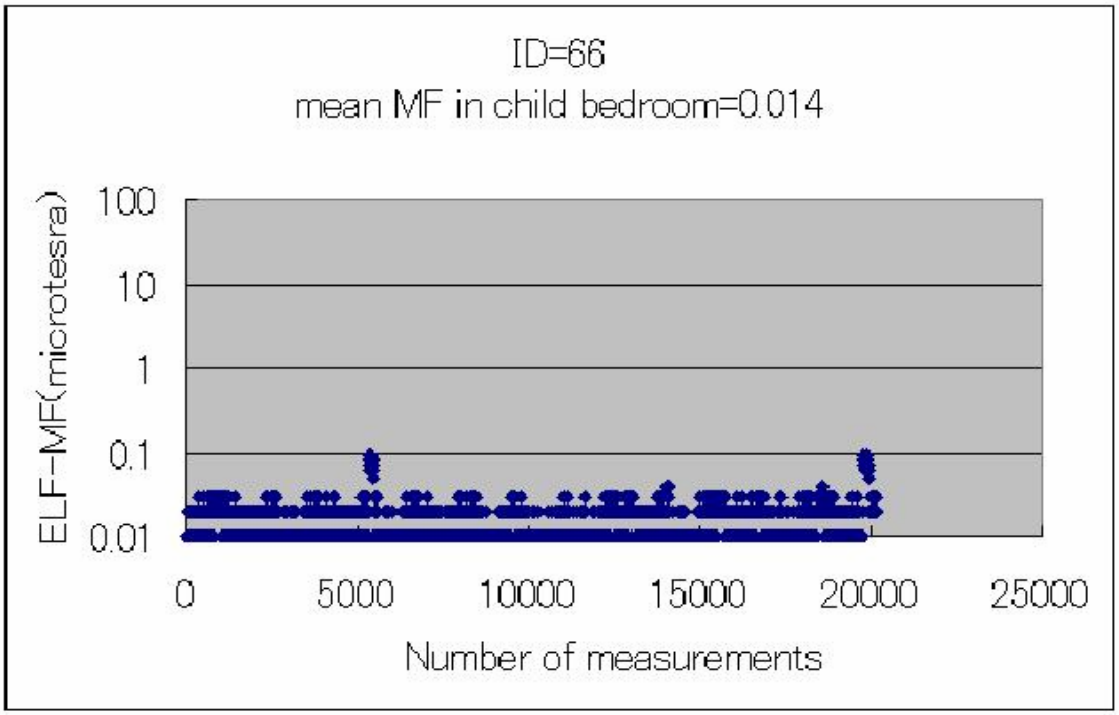

ID=2 personal exposure
mean MF=0.396
親戚の家（高圧送電線近傍）で宿泊
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

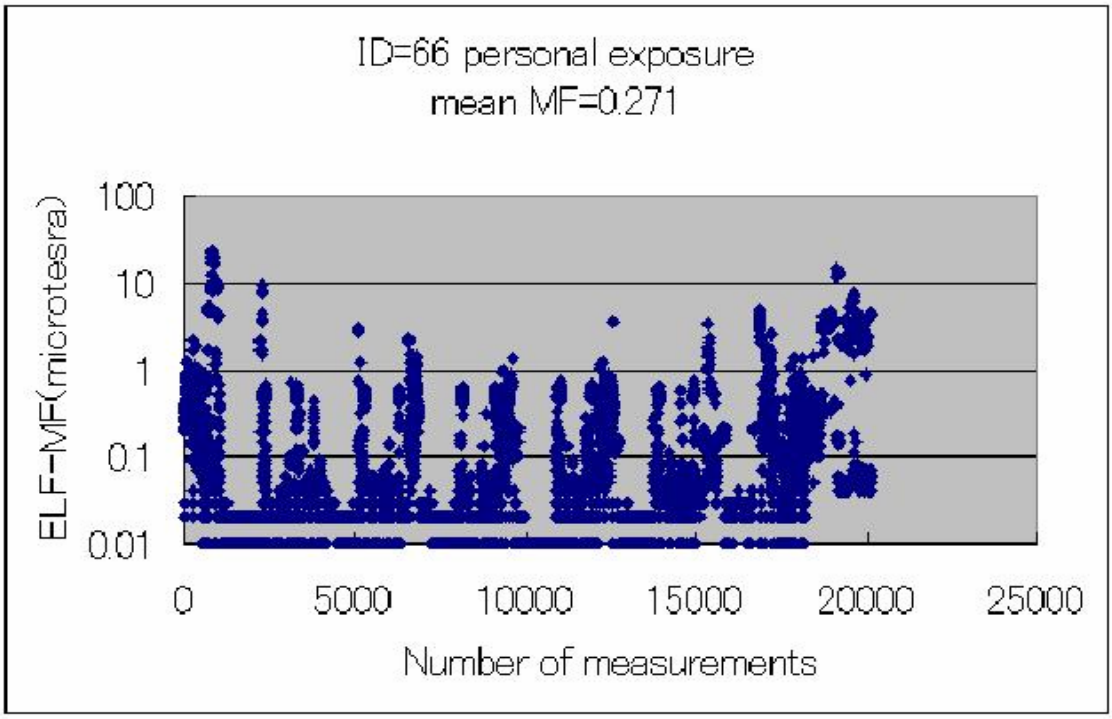
EC（－）　＋電気ストーブ


ID=5
mean MF in child bedroom=0.014
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

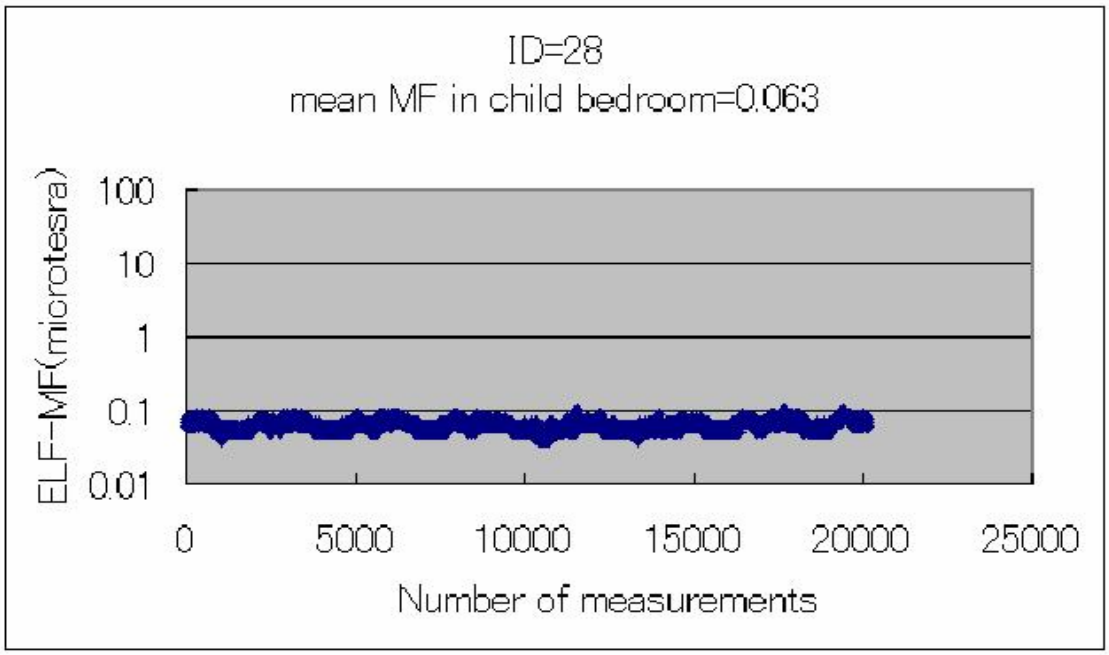

ID=5 personal exposure
mean MF=0.387
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

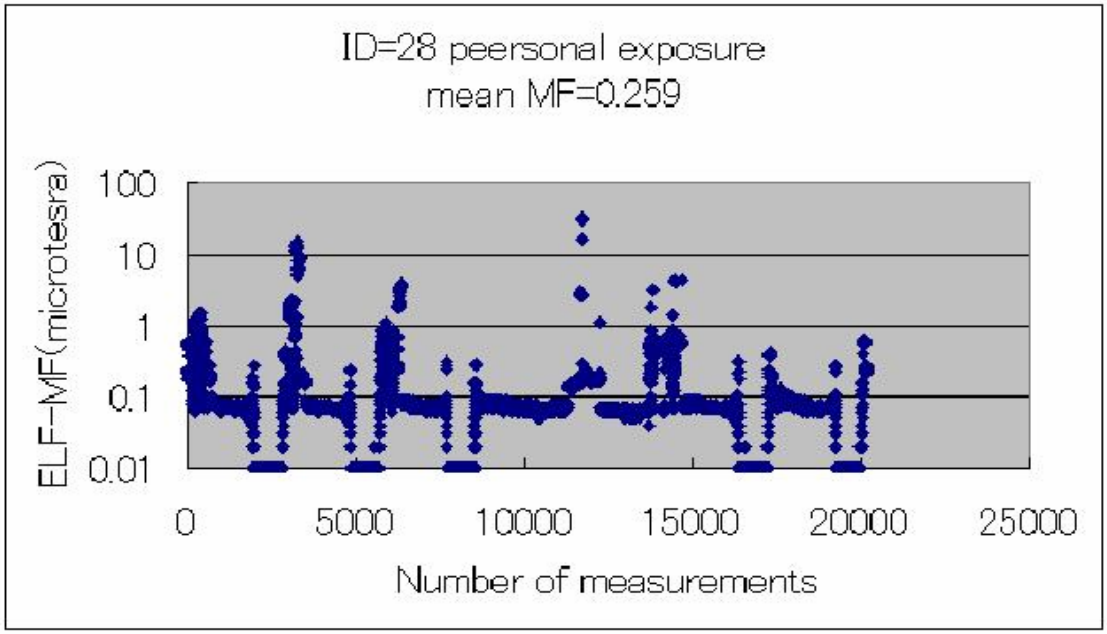
EC（＋）　＋電気こたつ


ID=66
mean MF in child bedroom=0.014
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

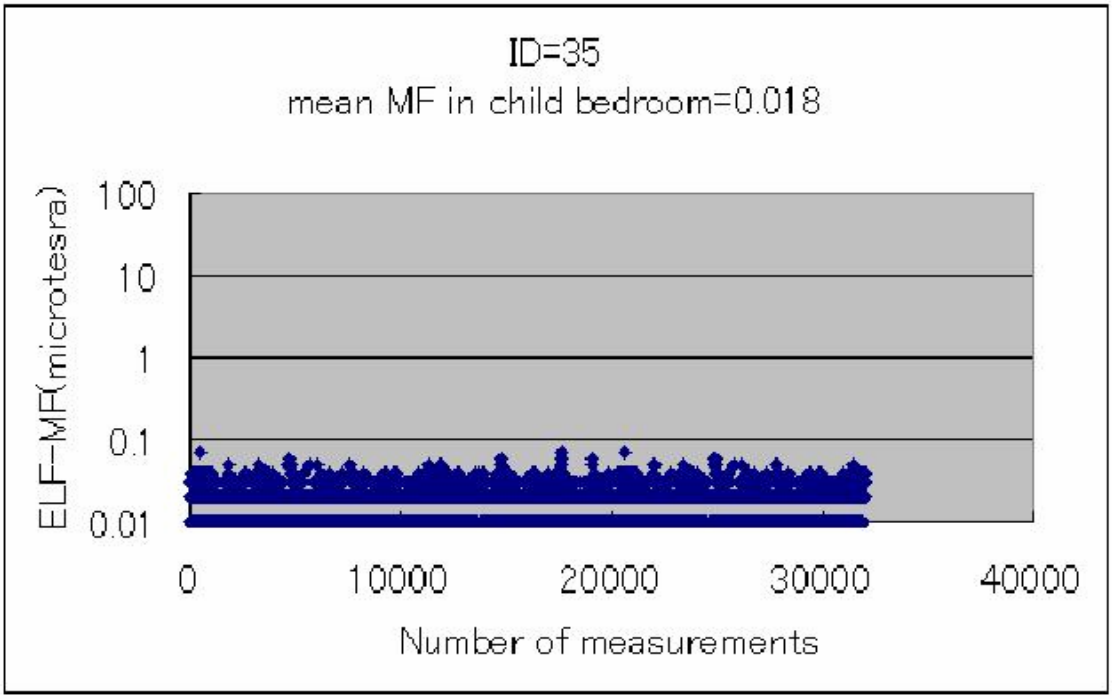


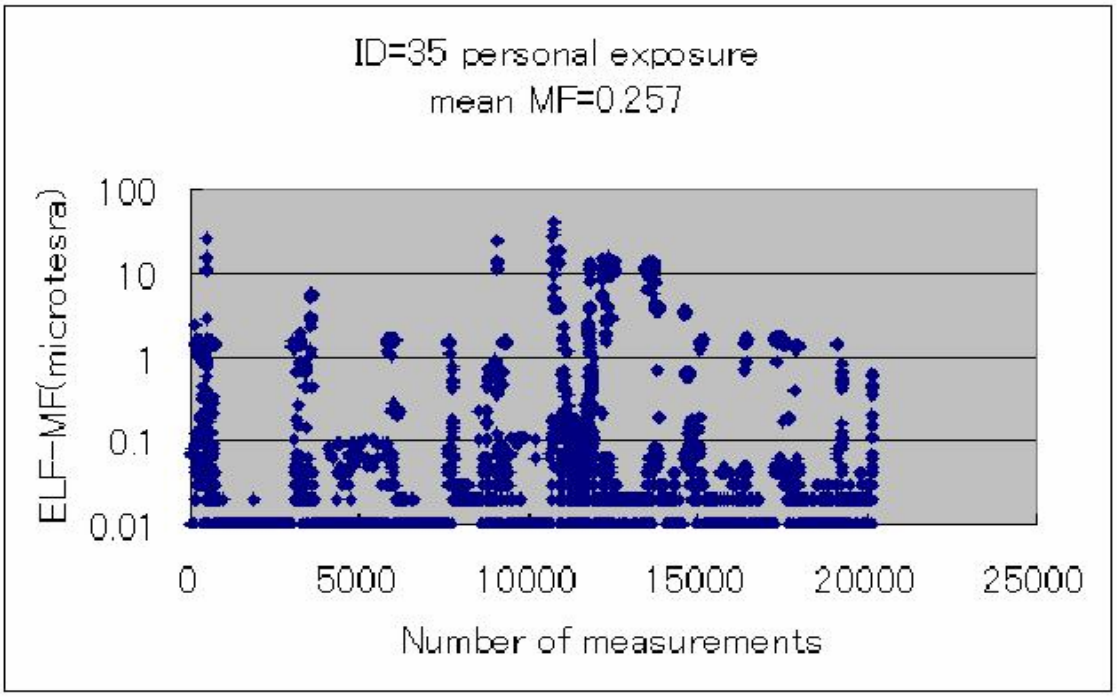
EC 無し　＋こたつ有り　＋電気ストーブあり


ID=28
mean MF in child bedroom=0.063
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

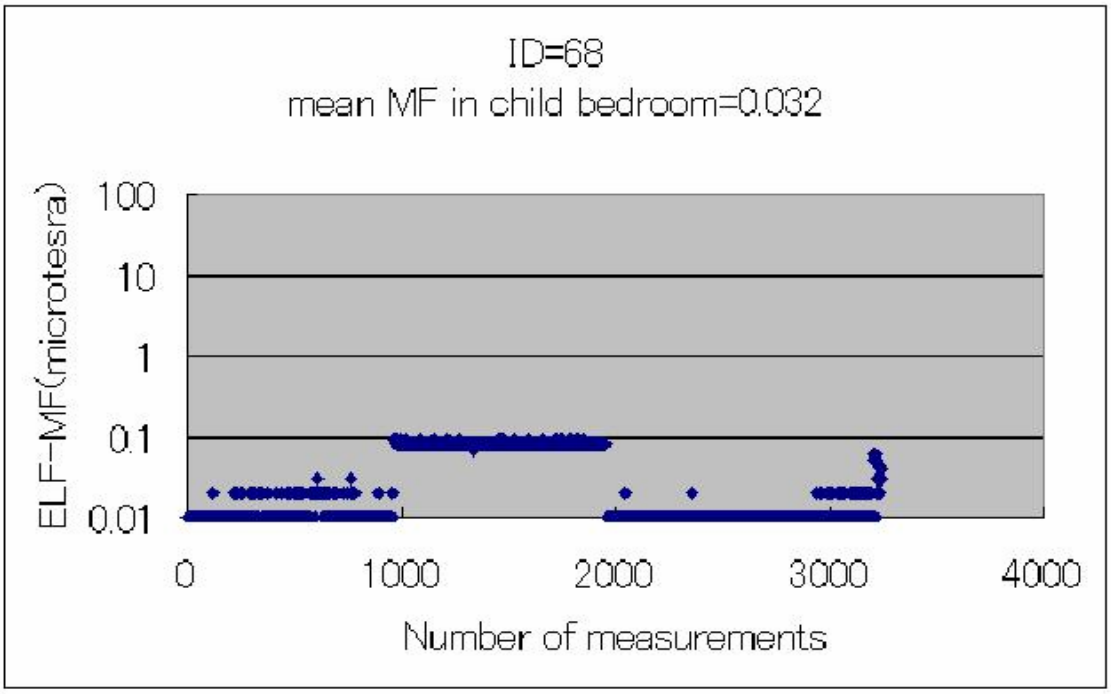

ID=28 peersonal exposure
mean MF=0.259
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

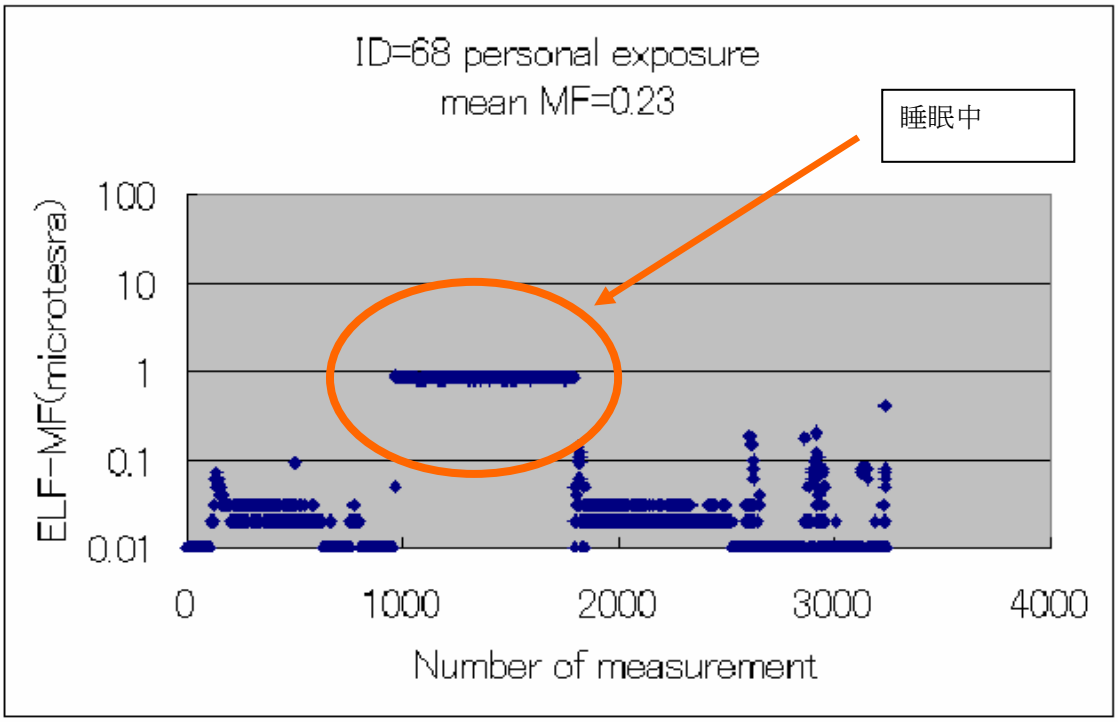
EC（－）　＋電気こたつ


ID=35
mean MF in child bedroom=0.018
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
10000
20000
30000
40000
Number of measurements

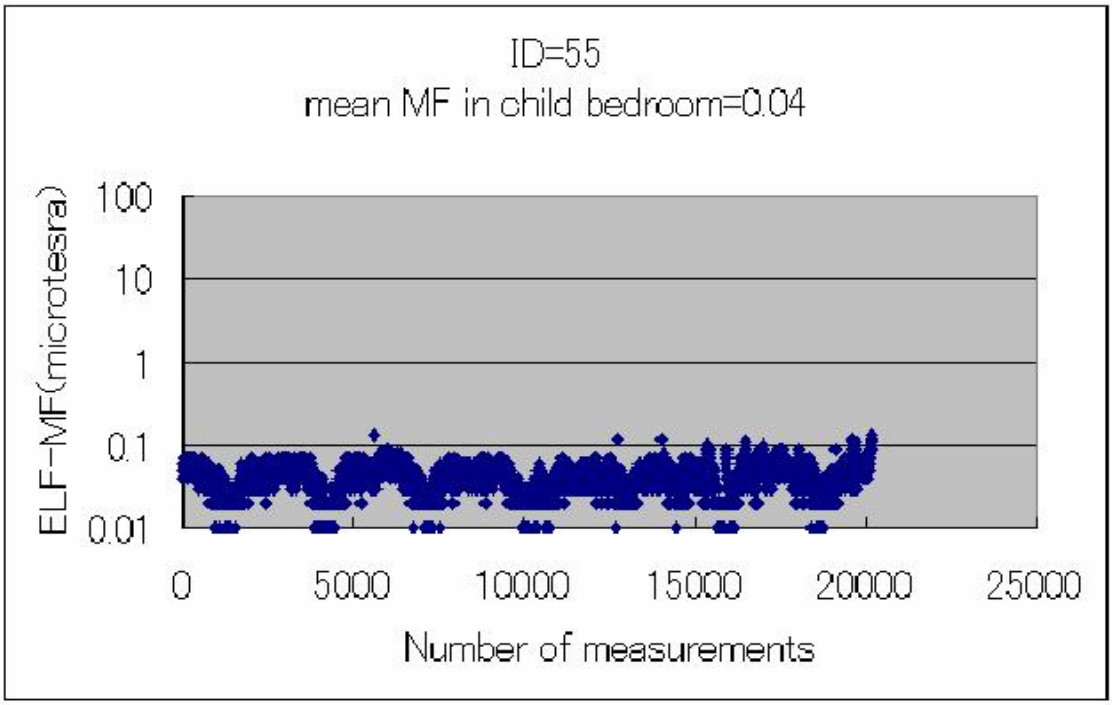

ID=35 personal exposure
mean MF=0.257
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

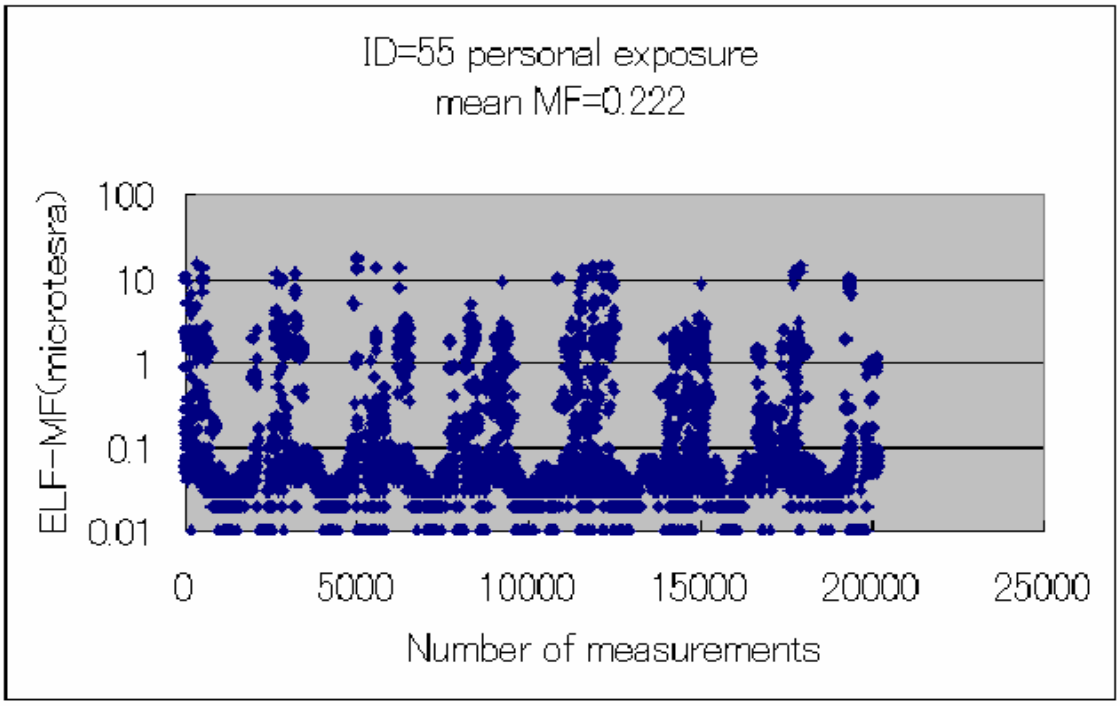
EC (+)



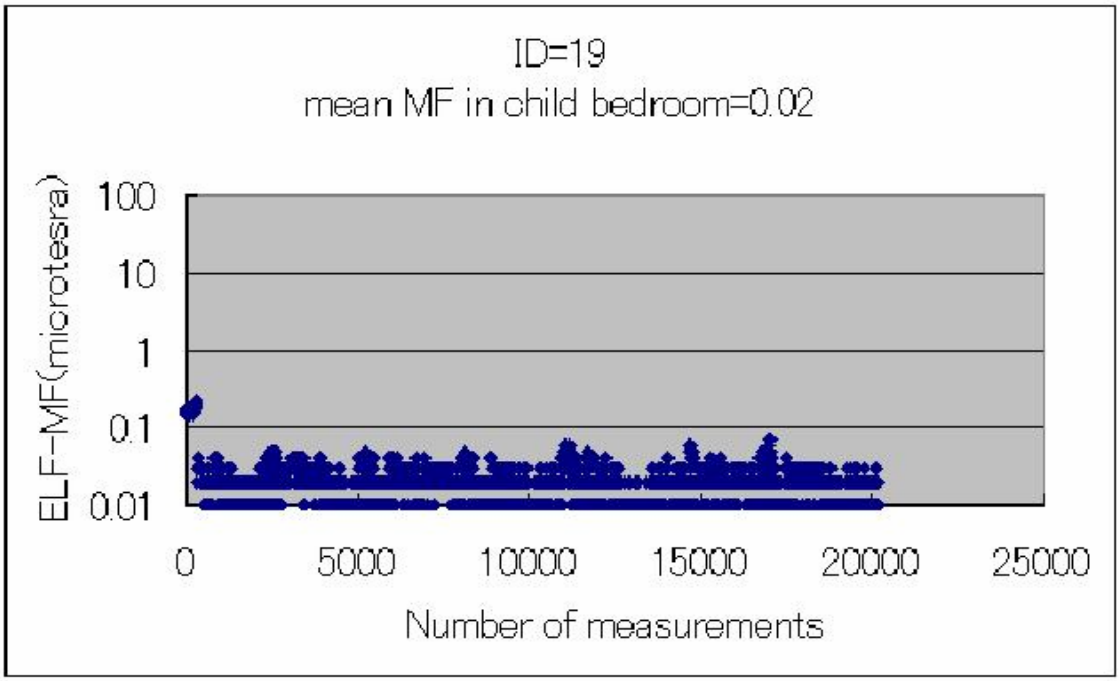


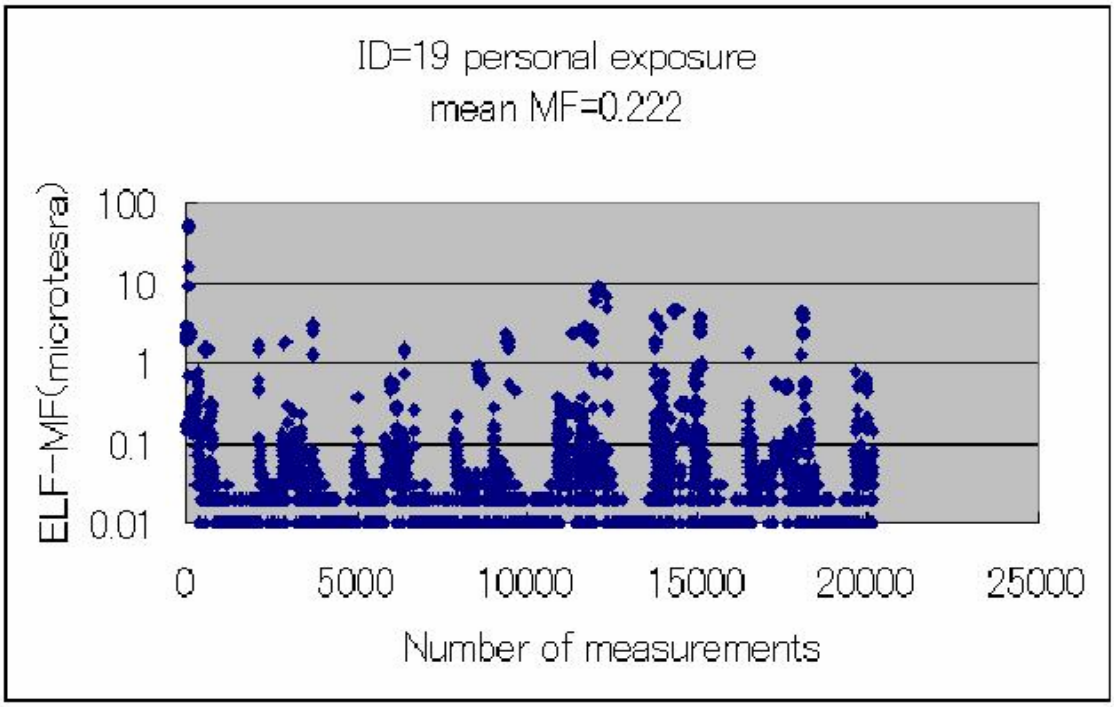
EC（－）　＋加湿器　＋電気ストーブ


ID=55
mean MF in child bedroom=0.04
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

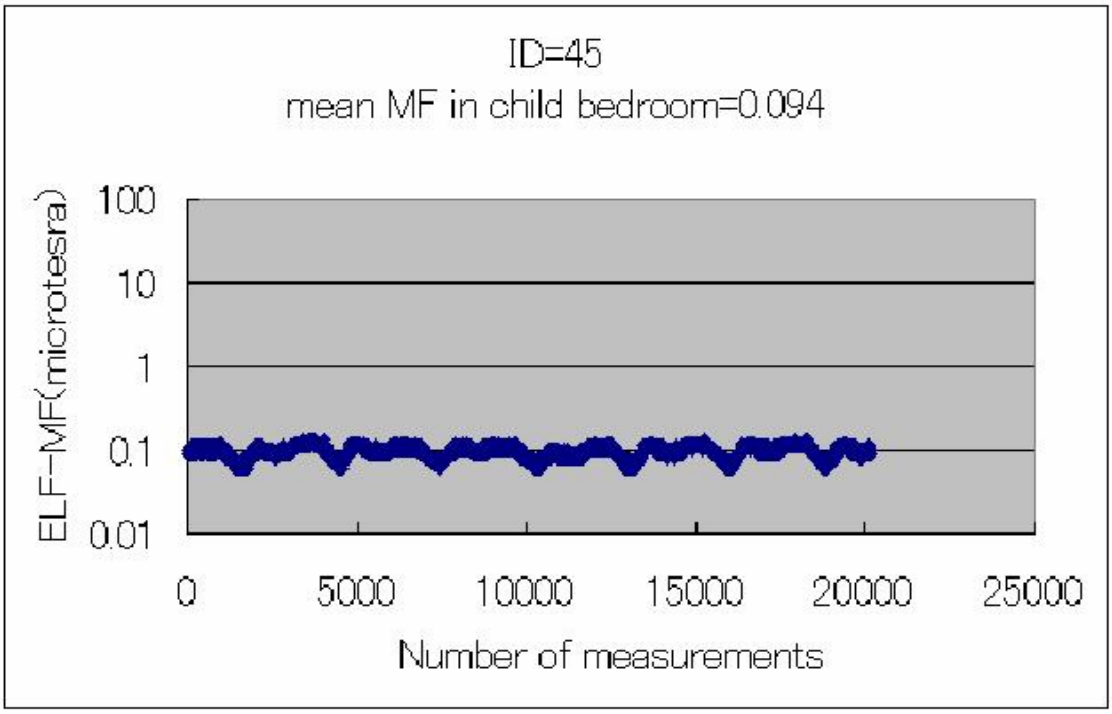

ID=55 personal exposure
mean MF=0.222
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

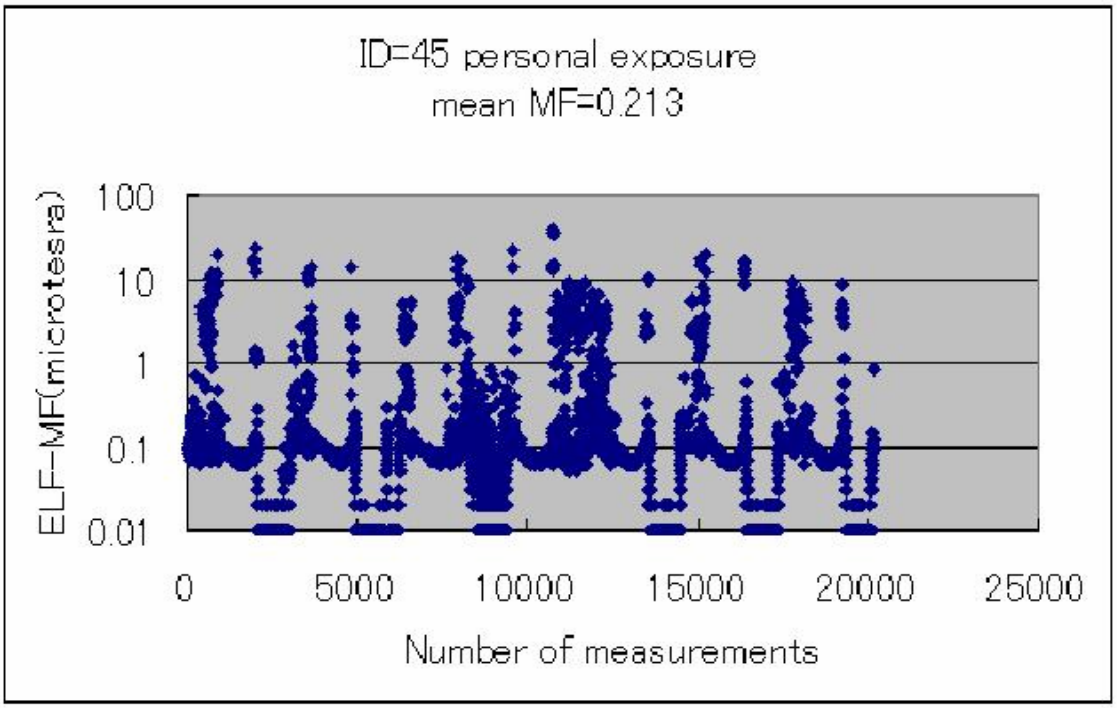
EC (+)


ID=19
mean MF in child bedroom=0.02
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

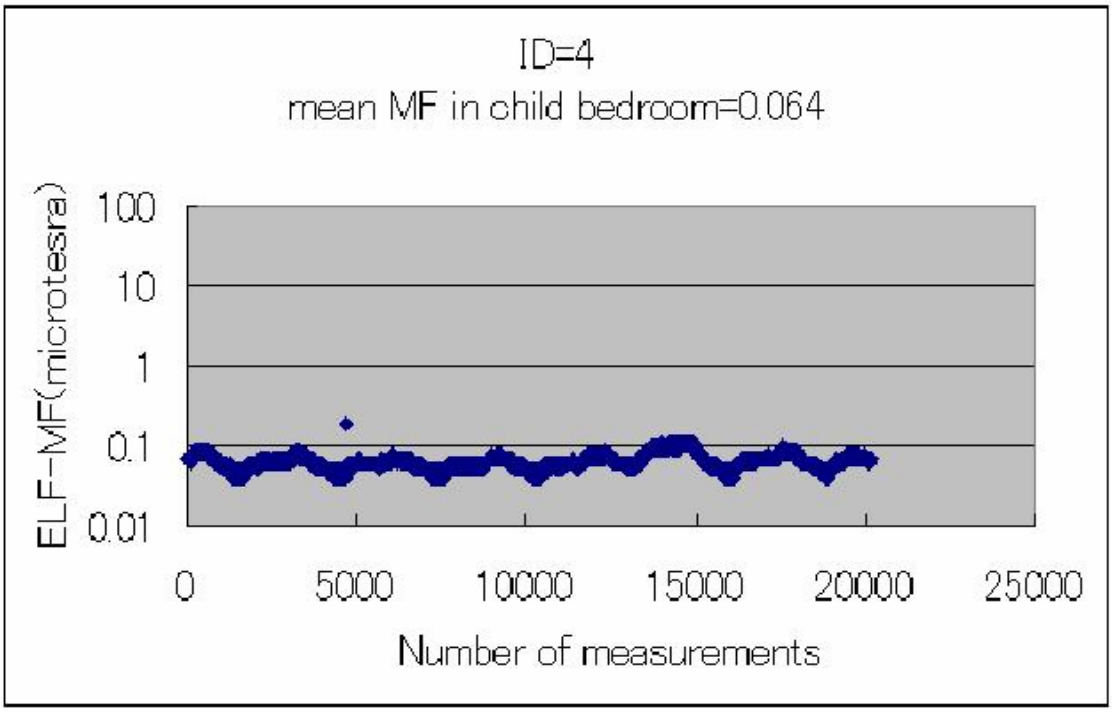

ID=19 personal exposure
mean MF=0.222
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

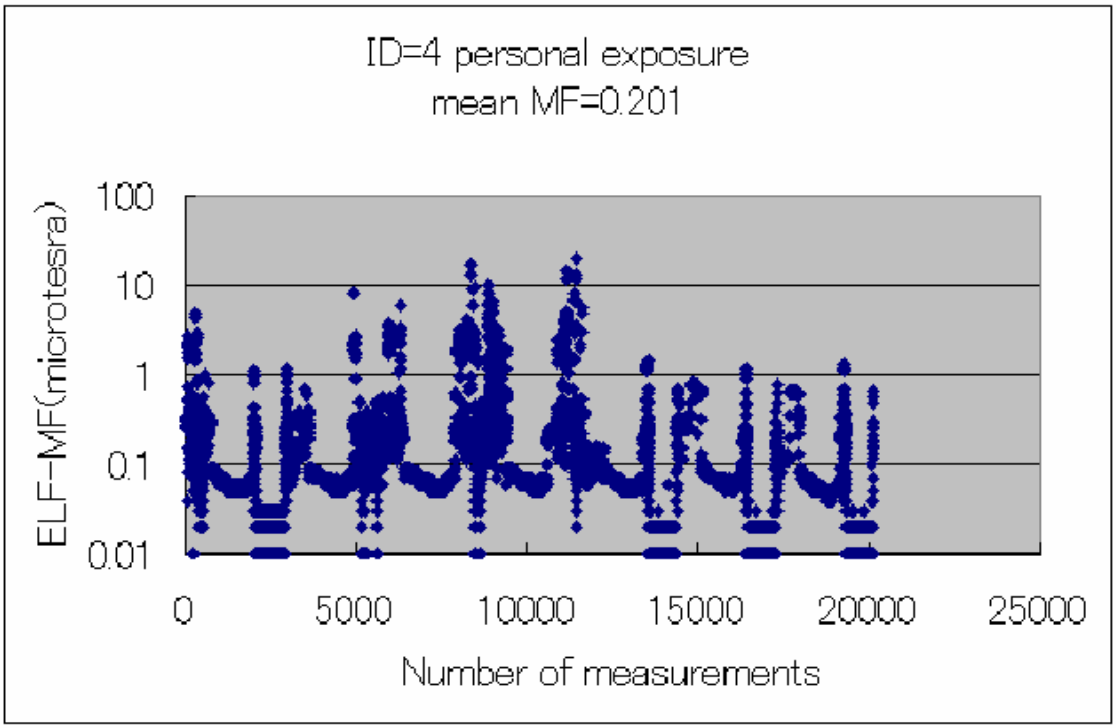
EC（+）


ID=45
mean MF in child bedroom=0.094
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=45 personal exposure
mean MF=0.213
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

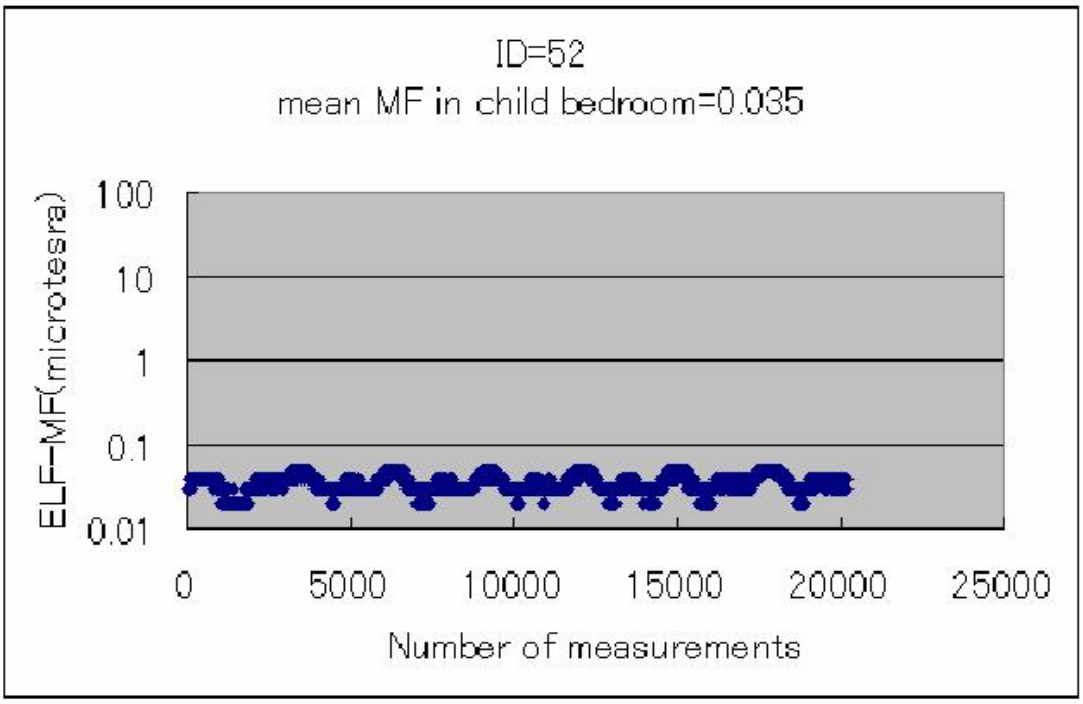
EC（＋）　＋電気ストーブ

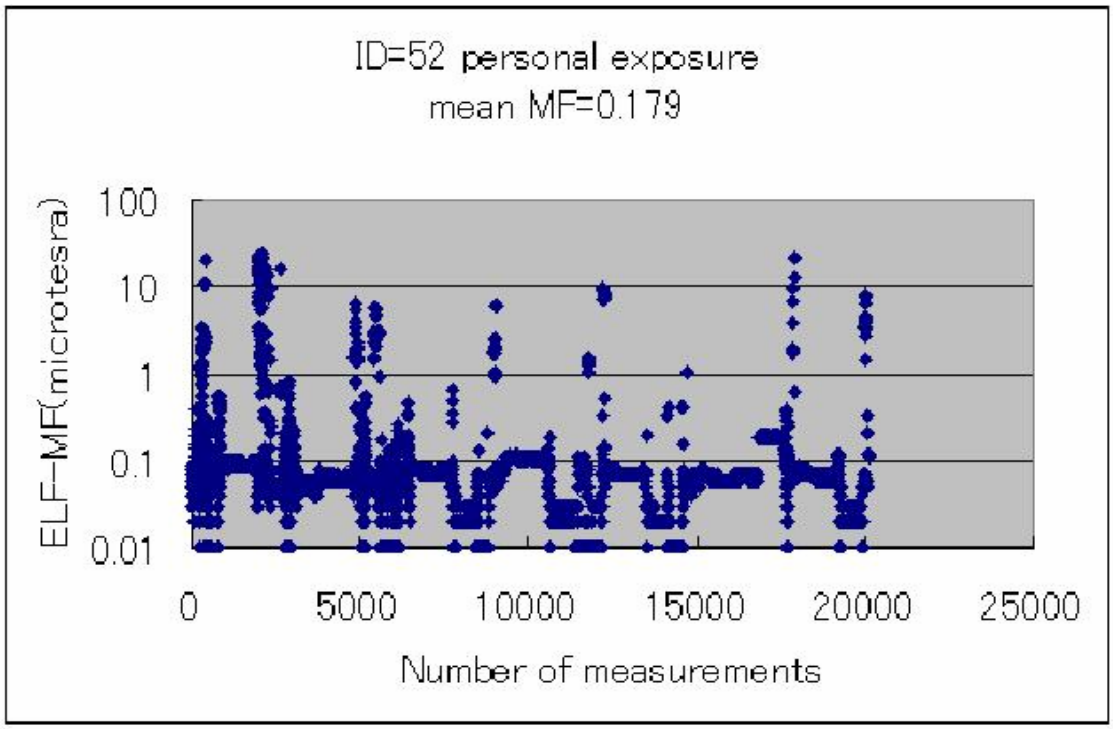

ID=4
mean MF in child bedroom=0.064
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=4 personal exposure
mean MF=0.201
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

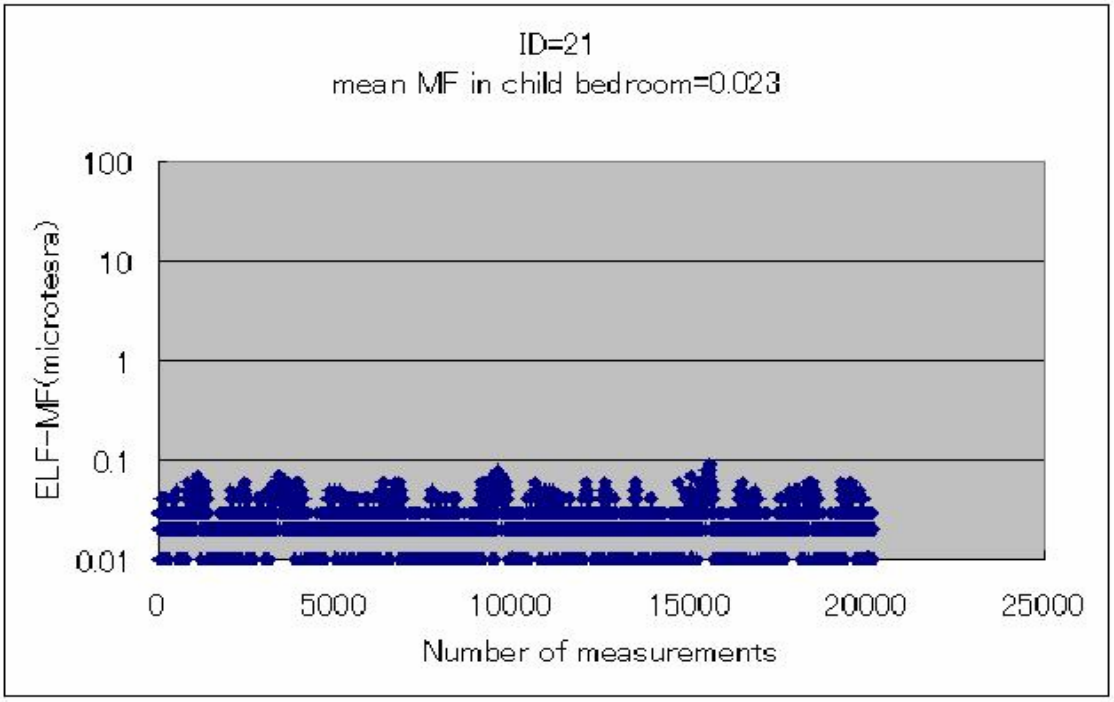
EC（+）

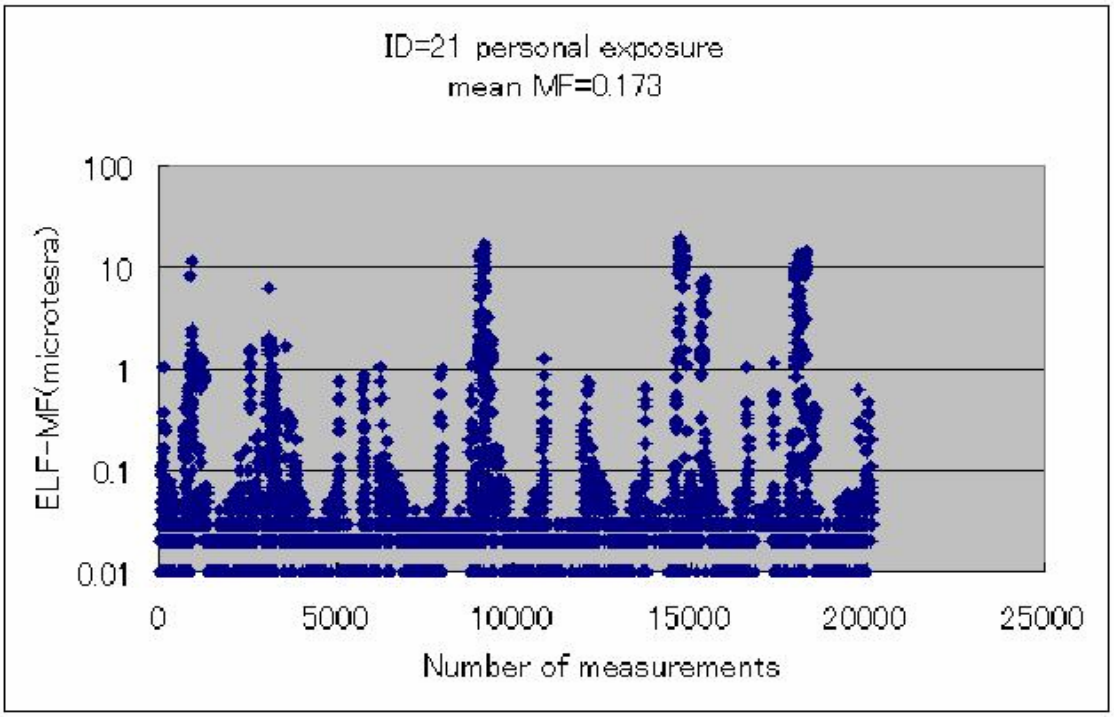
図４：「子供の寝室の平均磁界レベル」が 0.１μT 未満で、個人磁界曝露レベルが 0.1-0.2 μT であった１１例の個人曝露レベルの変動を示す。


ID=52
mean MF in child bedroom=0.035
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

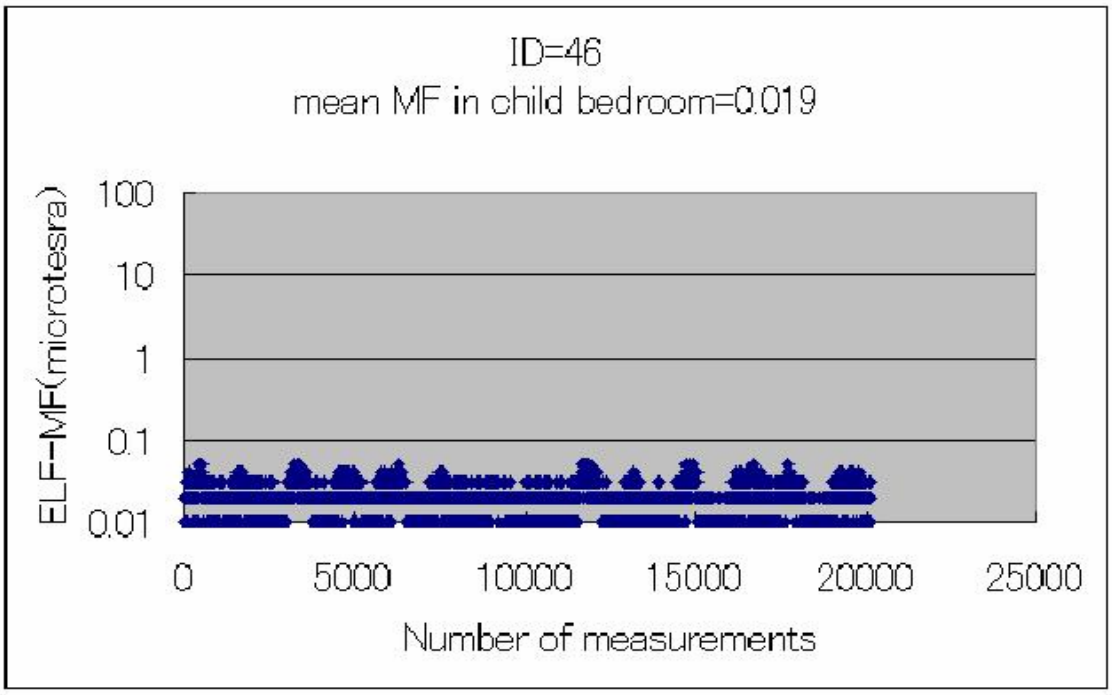

ID=52 personal exposure
mean MF=0.179
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

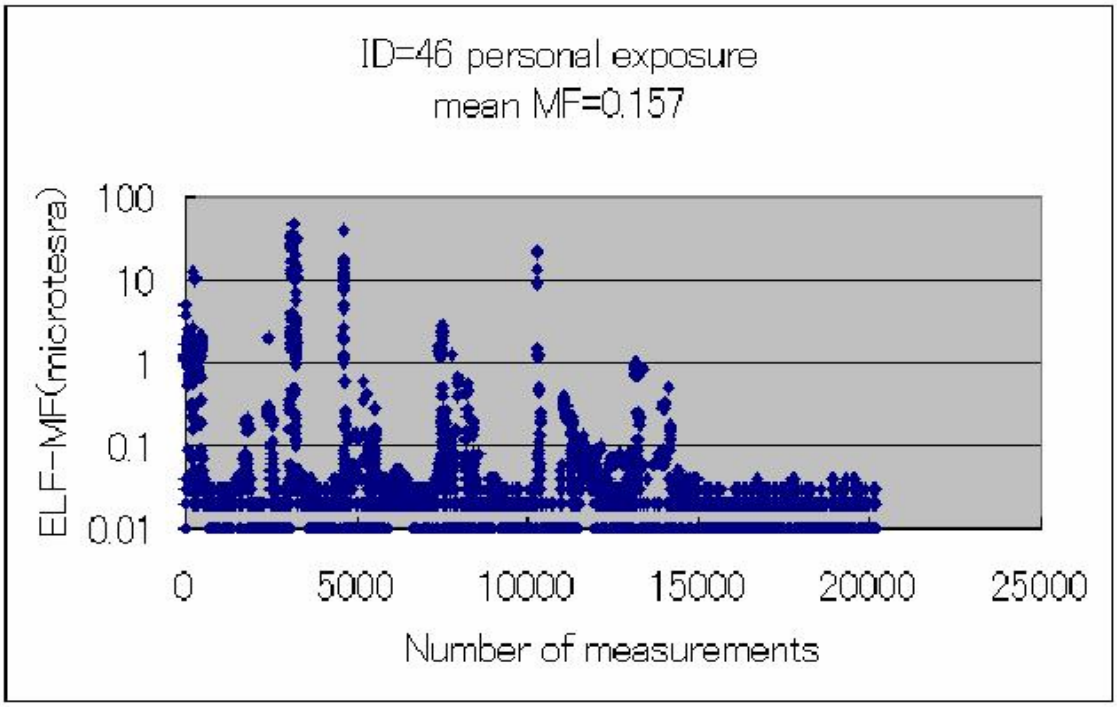
EC（+）


ID=21
mean MF in child bedroom=0.023
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

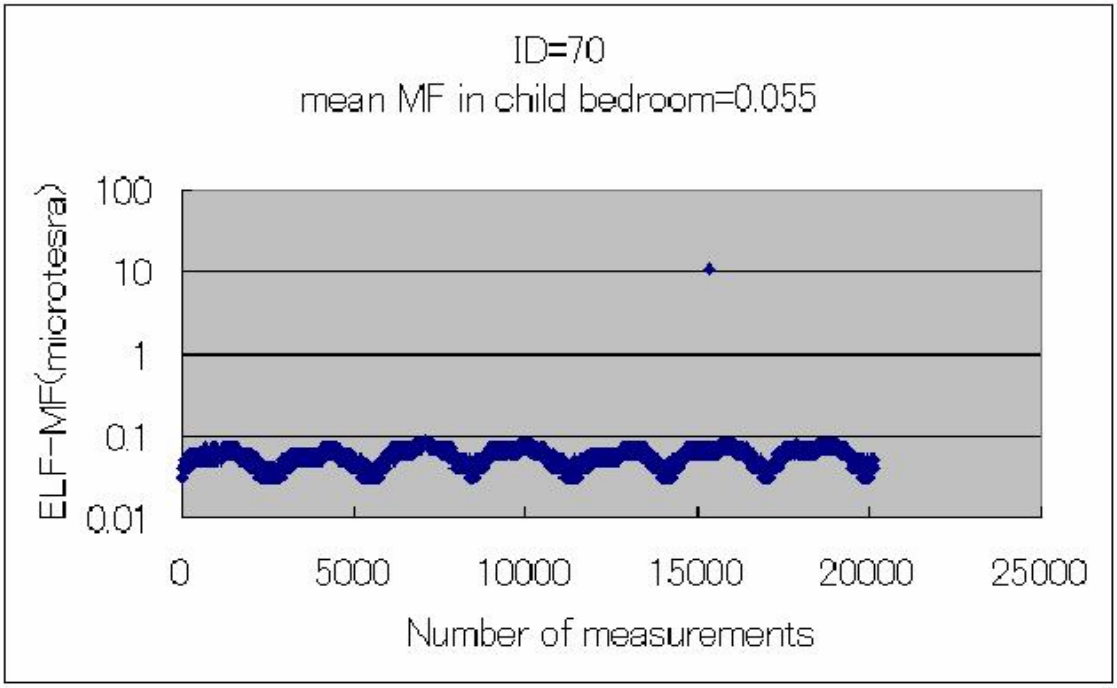

ID=21 personal exposure
mean MF=0.173
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

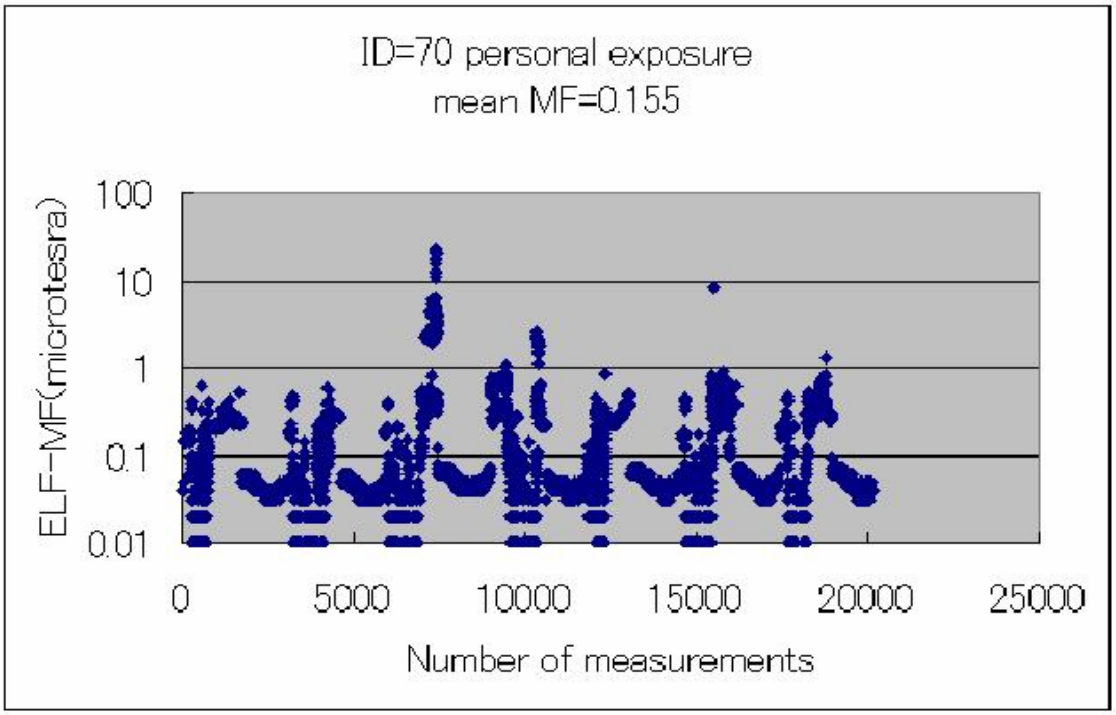
EC（+）


ID=46
mean MF in child bedroom=0.019
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

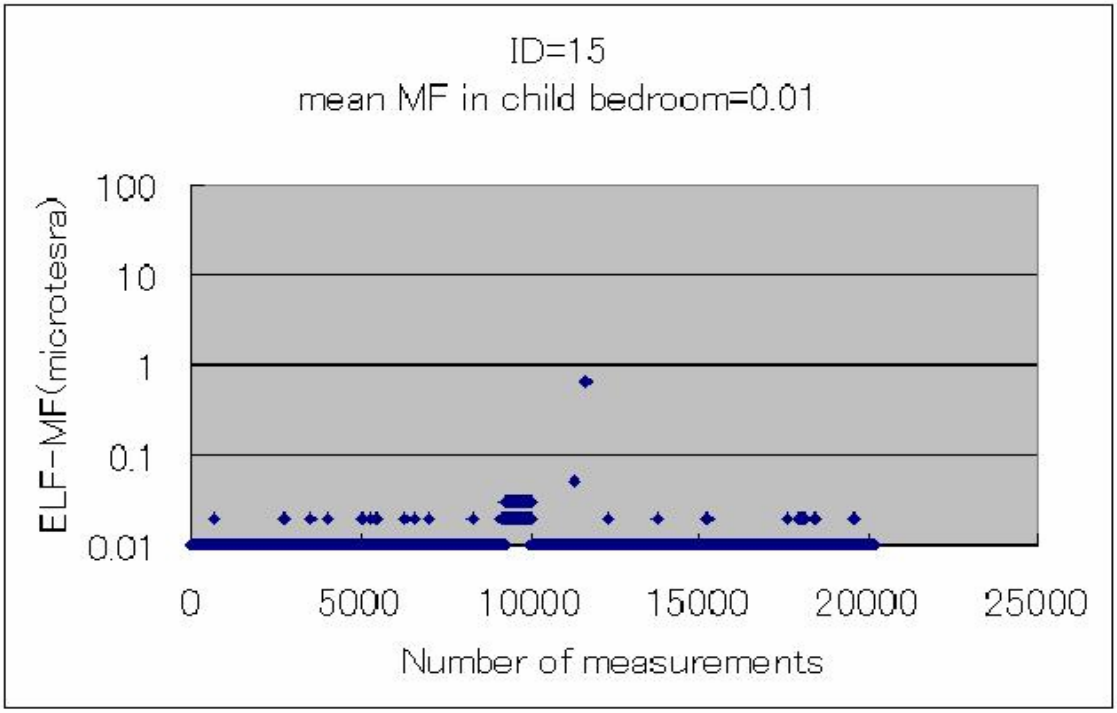

ID=46 personal exposure
mean MF=0.157
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

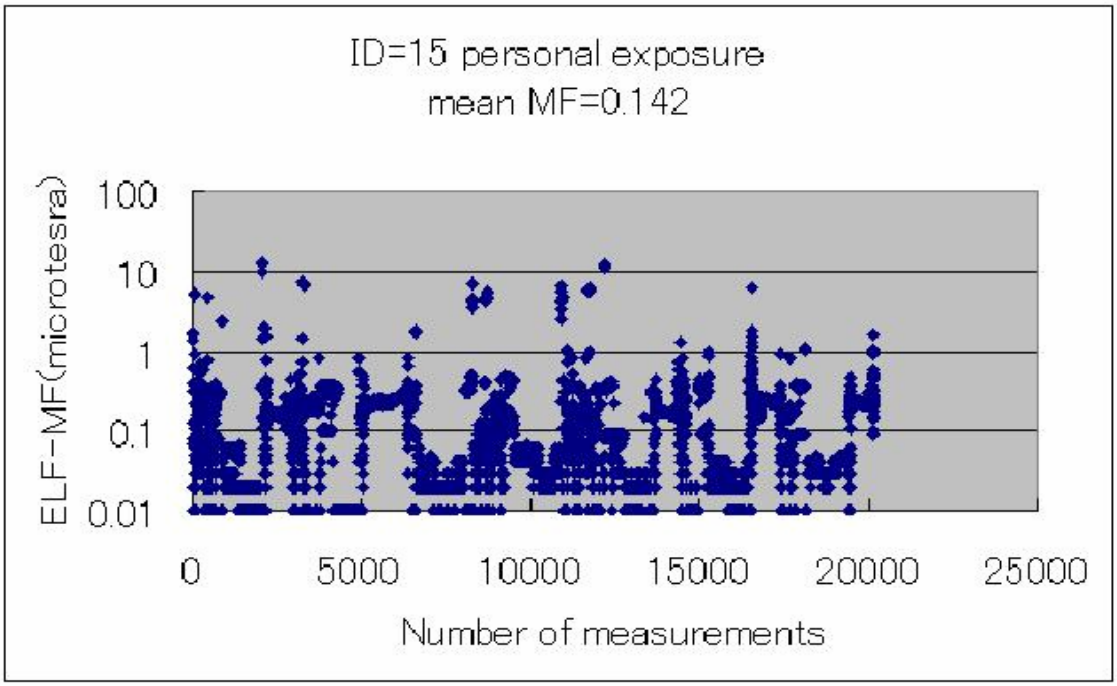
EC（+）


ID=70
mean MF in child bedroom=0.055
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

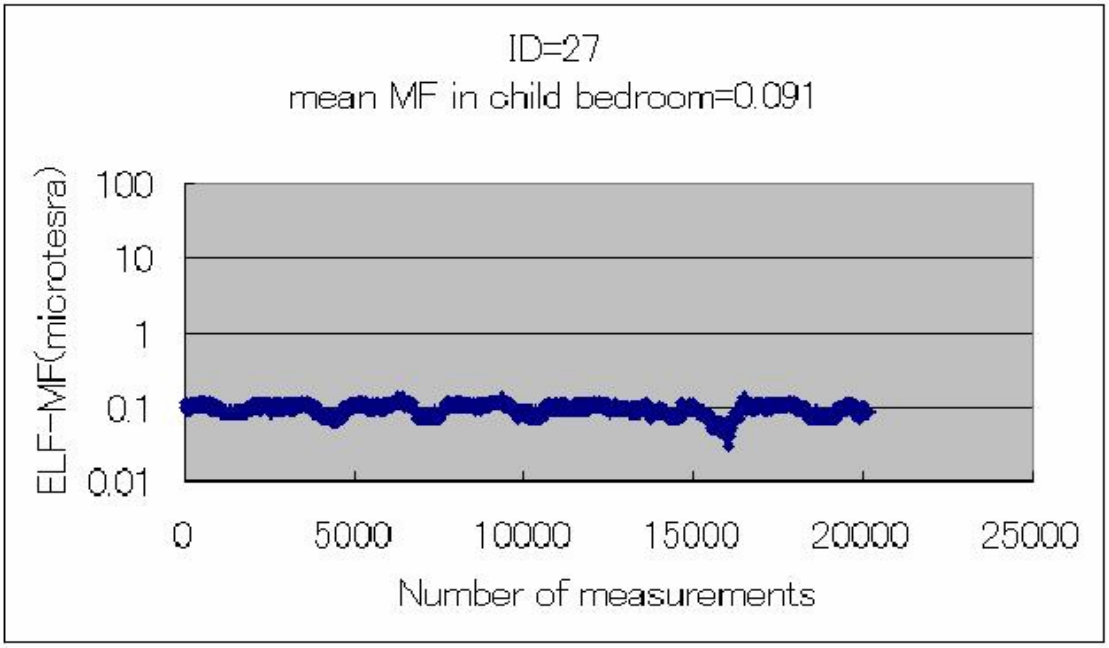

ID=70 personal exposure
mean MF=0.155
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

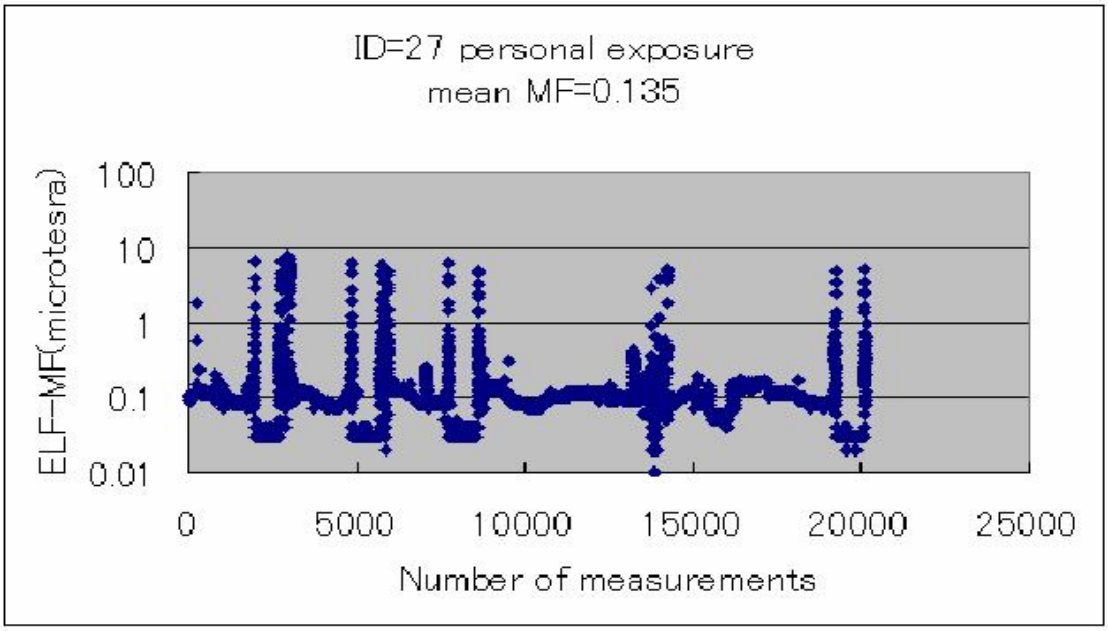
EC（+）


ID=15
mean MF in child bedroom=0.01
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

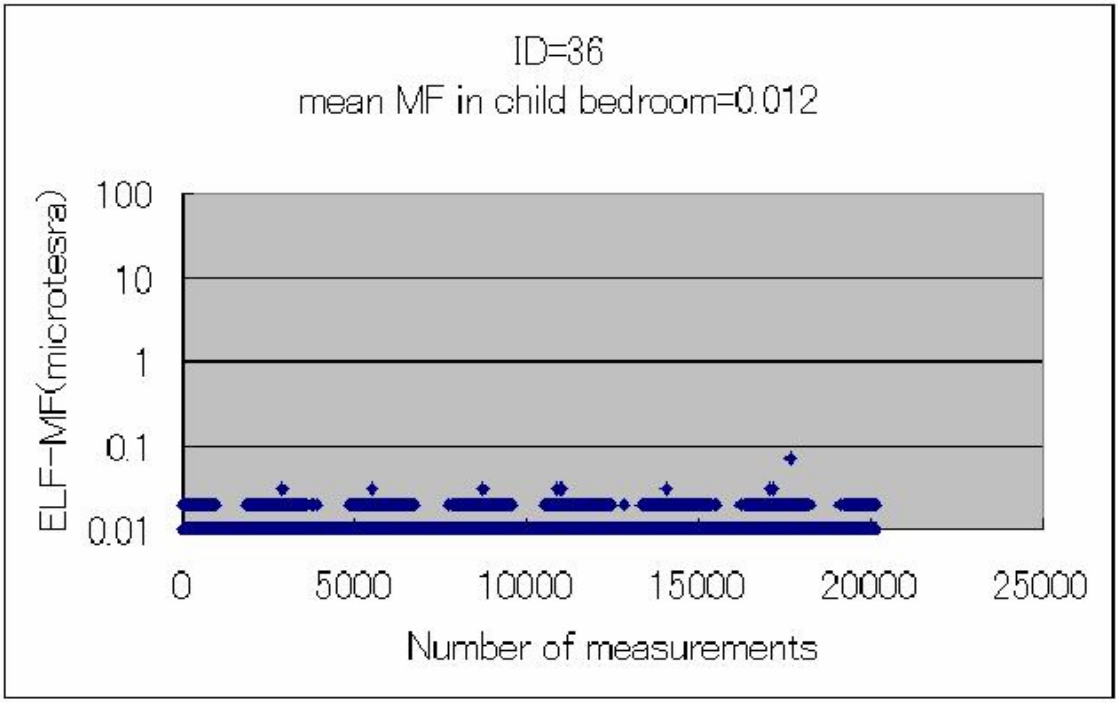

ID=15 personal exposure
mean MF=0.142
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

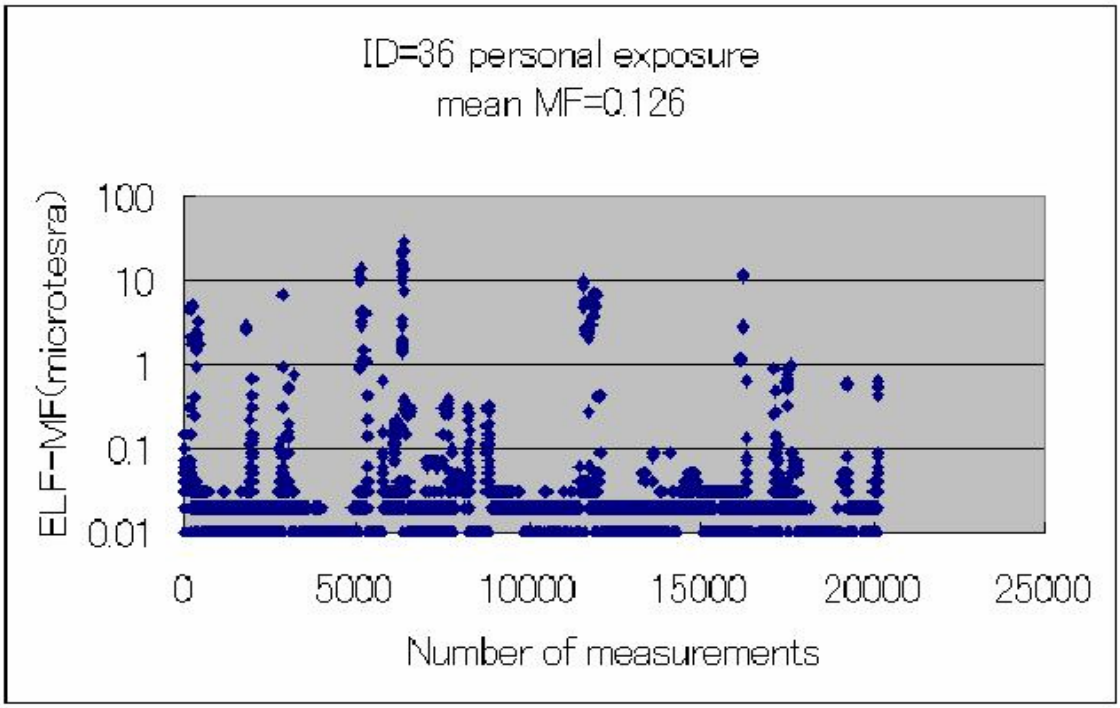
EC（+）


ID=27
mean MF in child bedroom=0.091
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

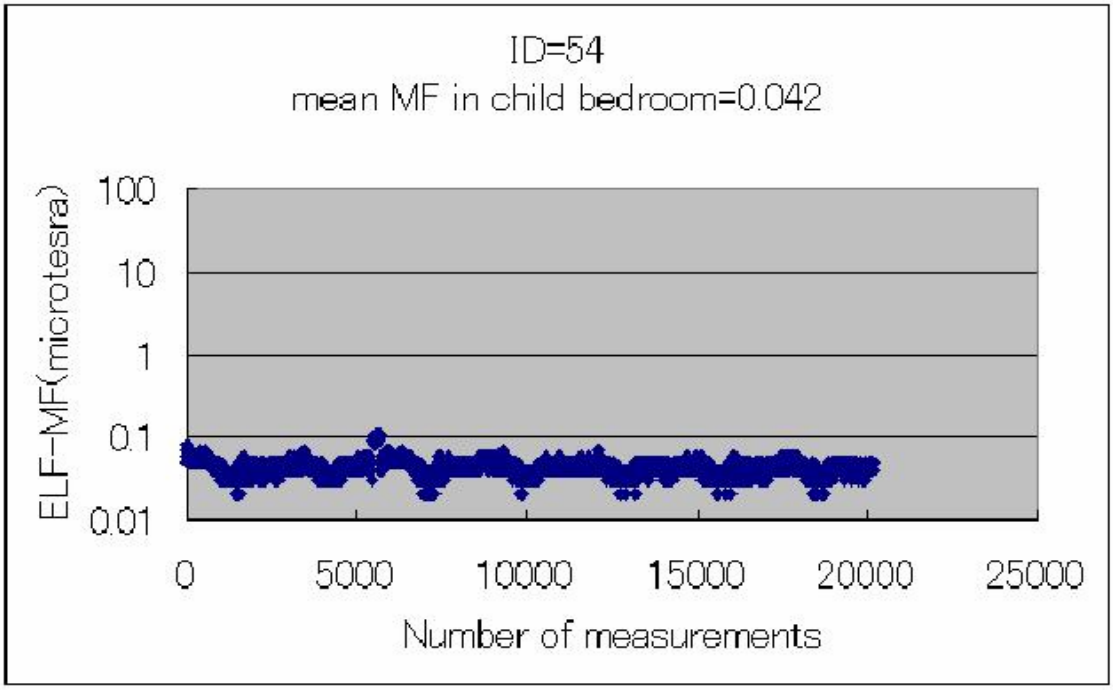

ID=27 personal exposure
mean MF=0.135
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

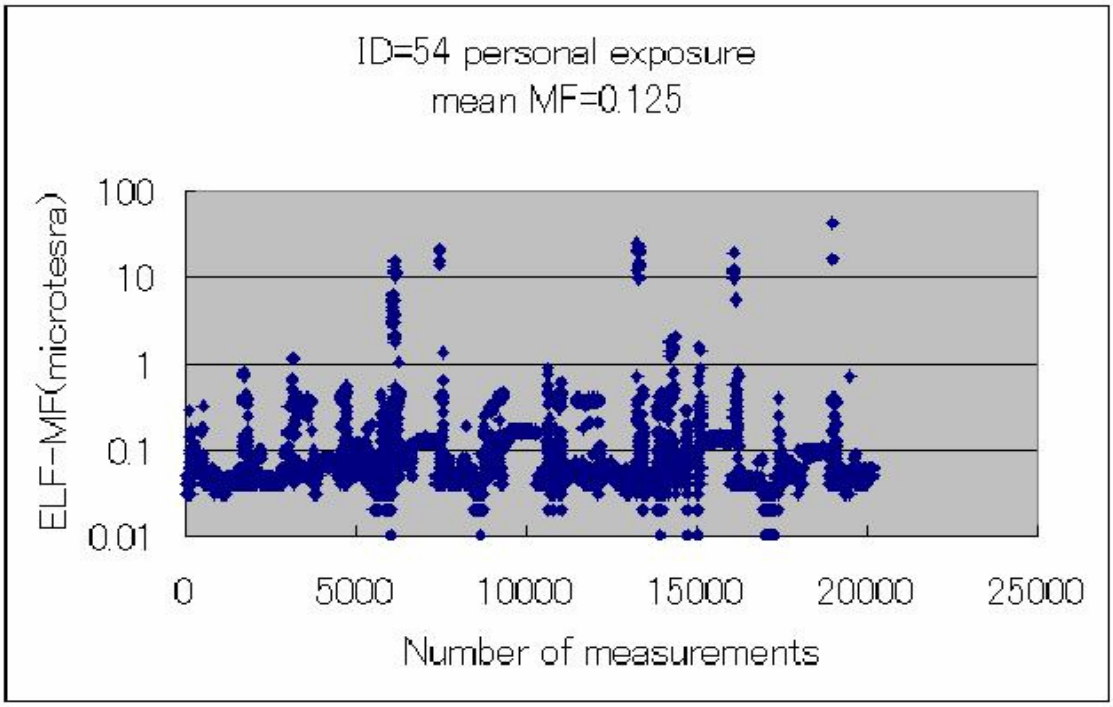
EC（+）


ID=36
mean MF in child bedroom=0.012
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

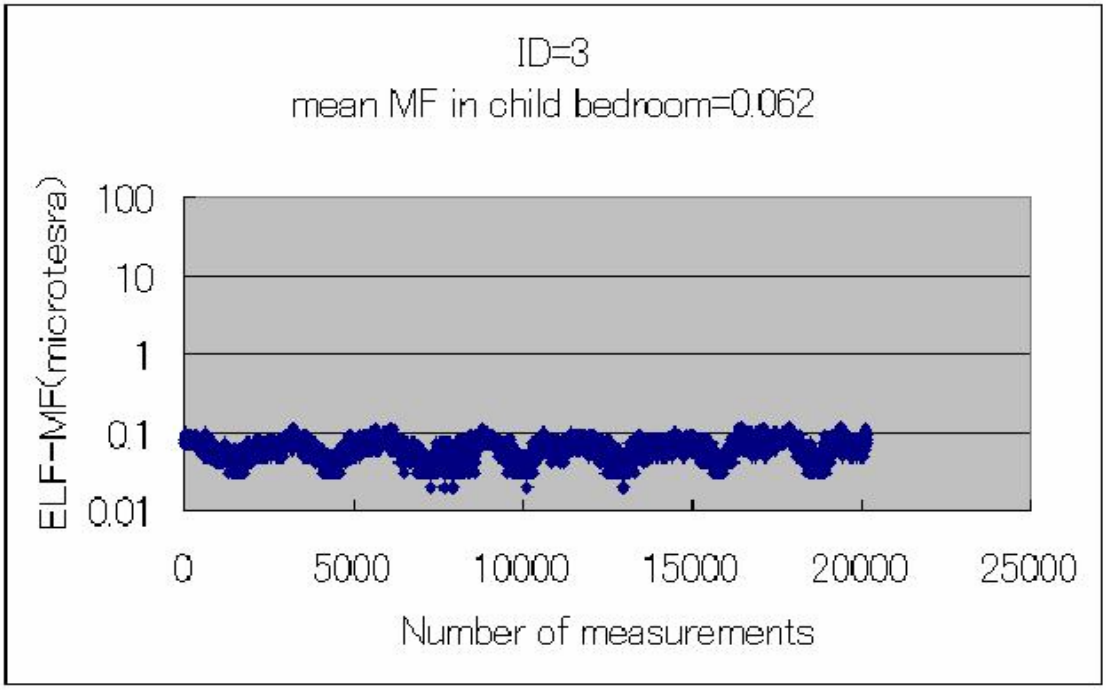

ID=36 personal exposure
mean MF=0.126
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

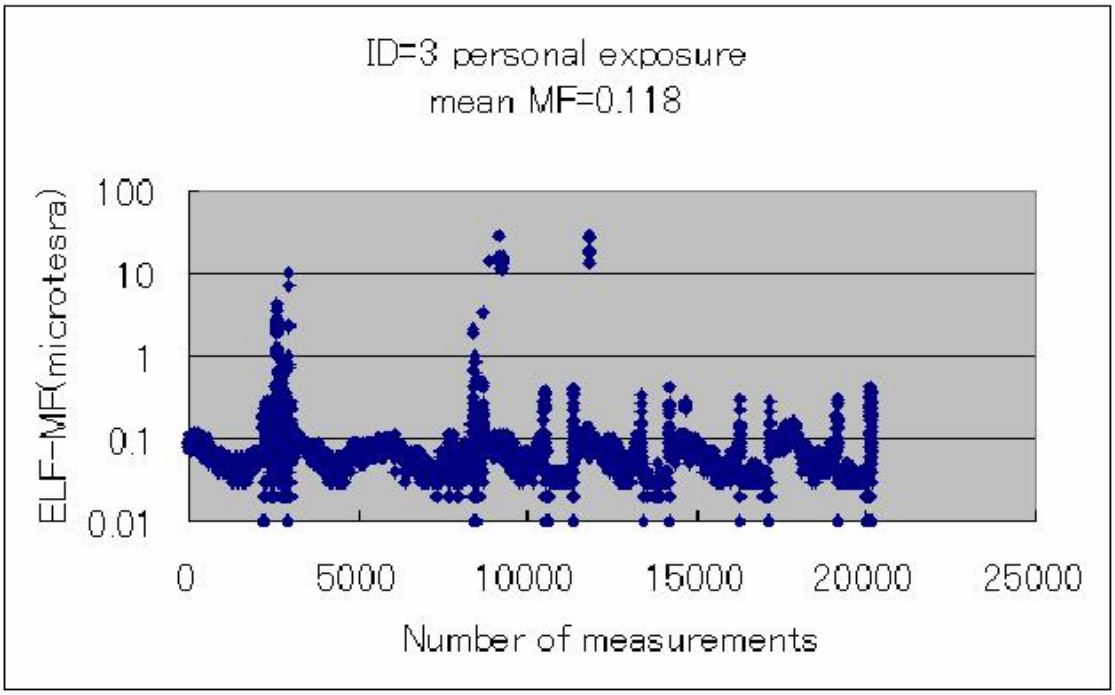
EC（+）


ID=54
mean MF in child bedroom=0.042
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

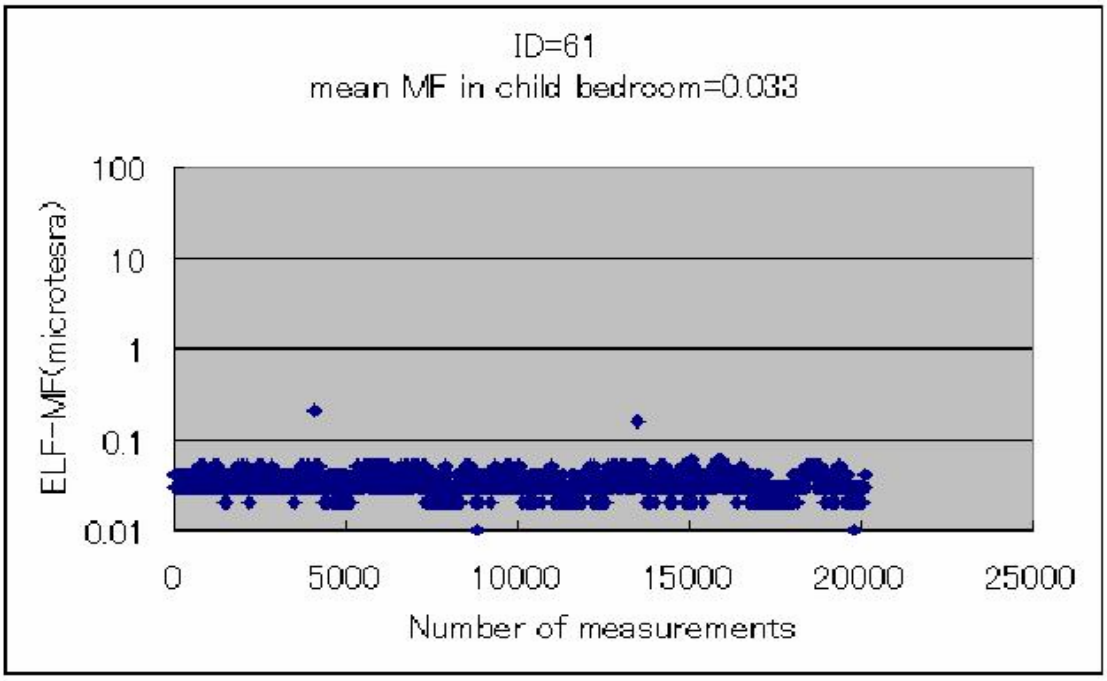

ID=54 personal exposure
mean MF=0.125
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

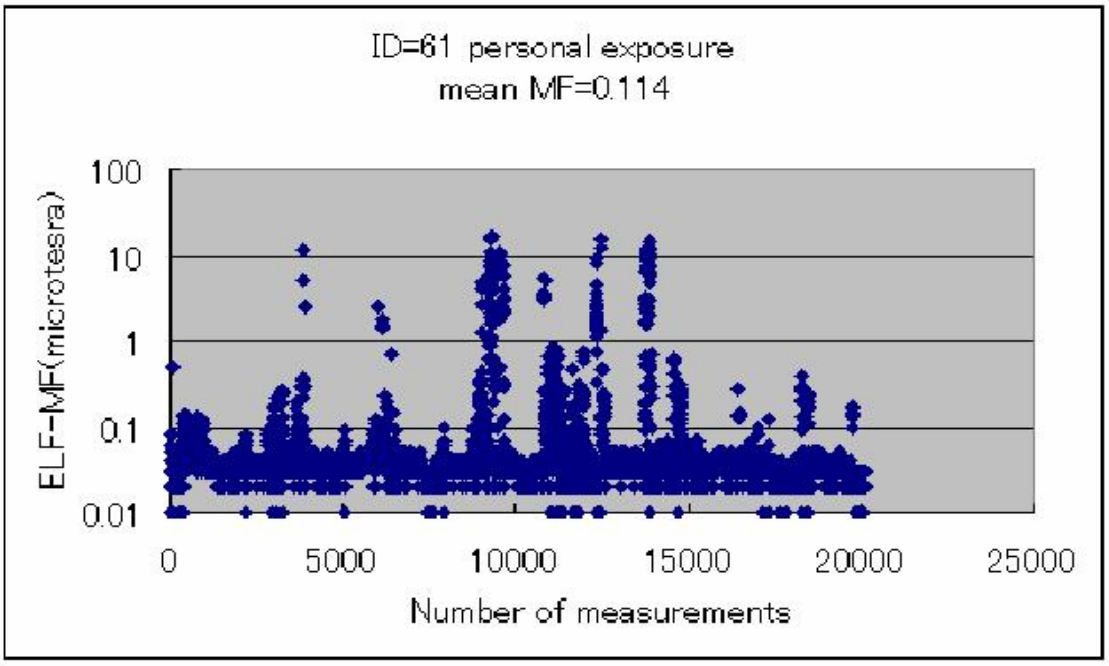
EC（＋）　＋床暖房



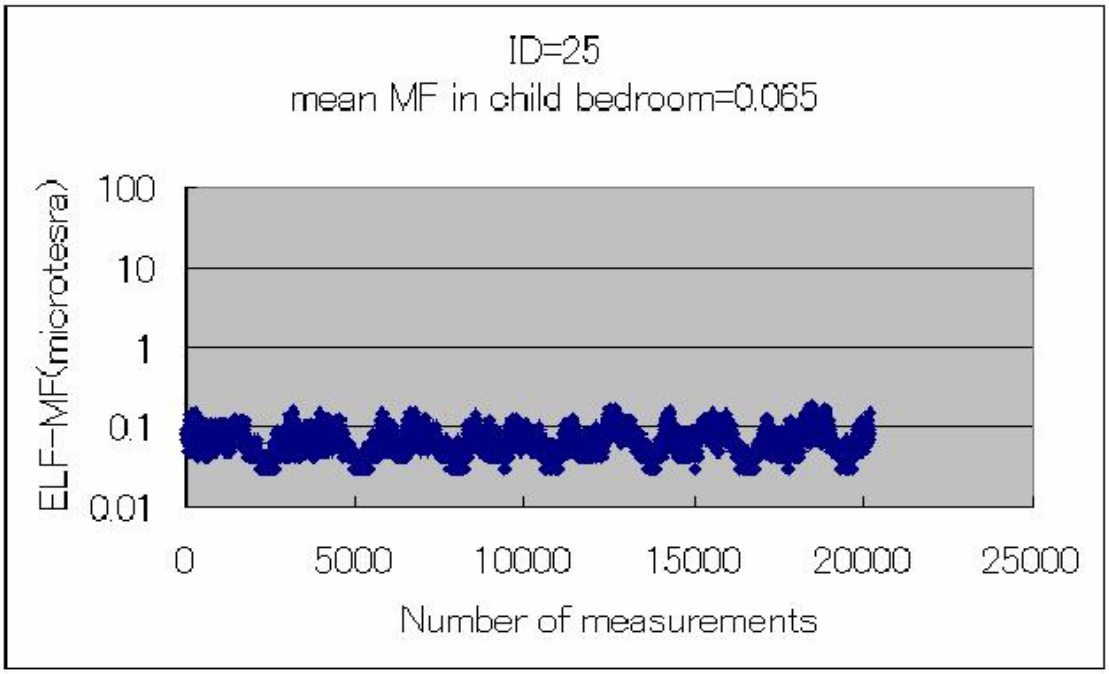


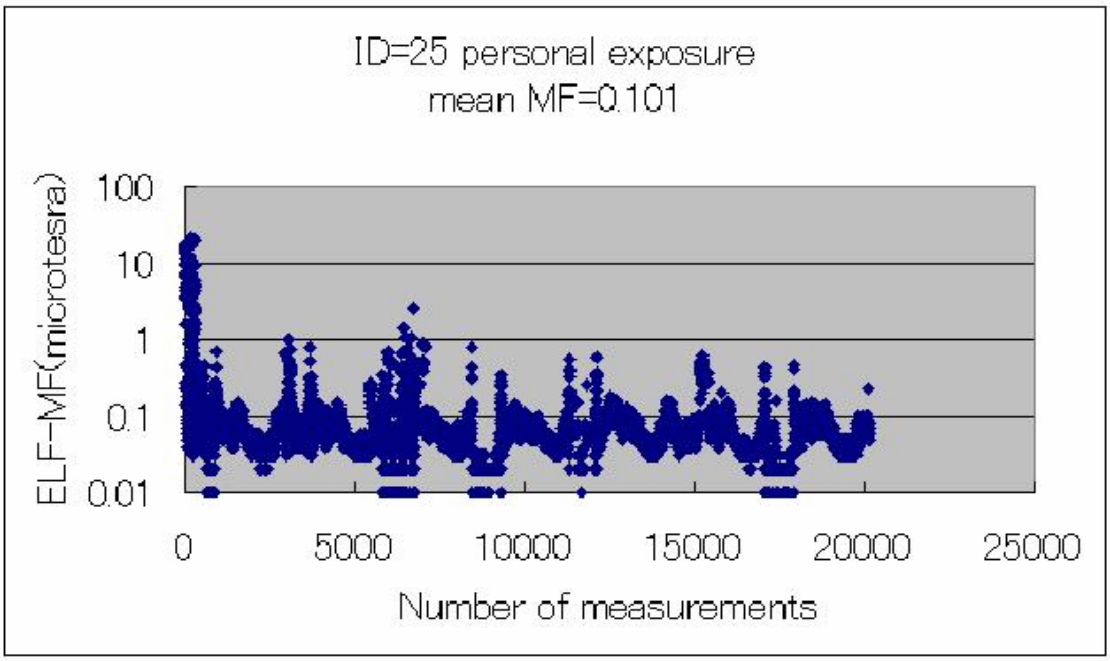
EC（－）　＋電気こたつ　＋電気ストーブ


ID=61
mean MF in child bedroom=0.033
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=61 personal exposure
mean MF=0.114
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

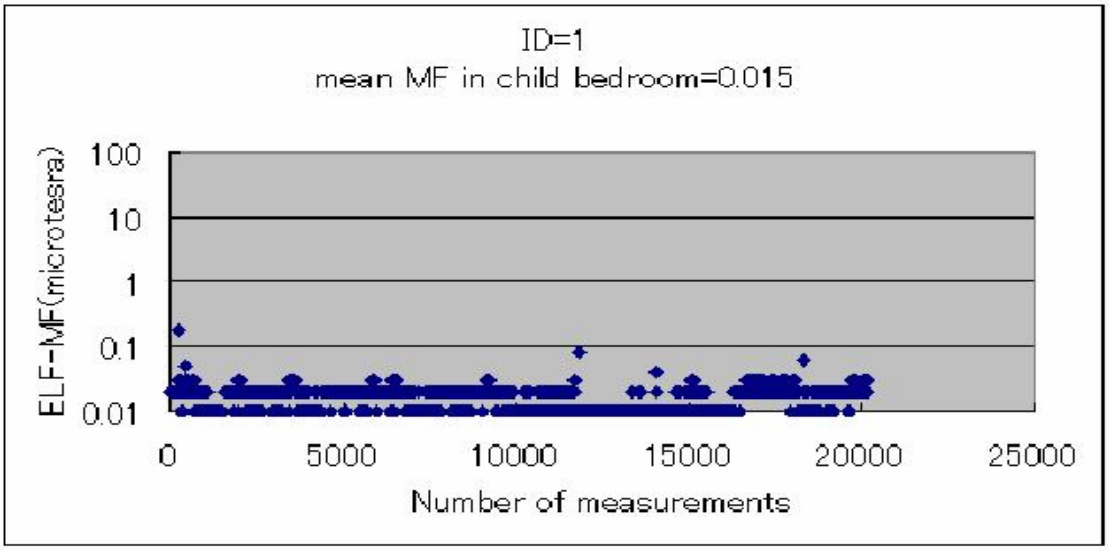
EC（+）

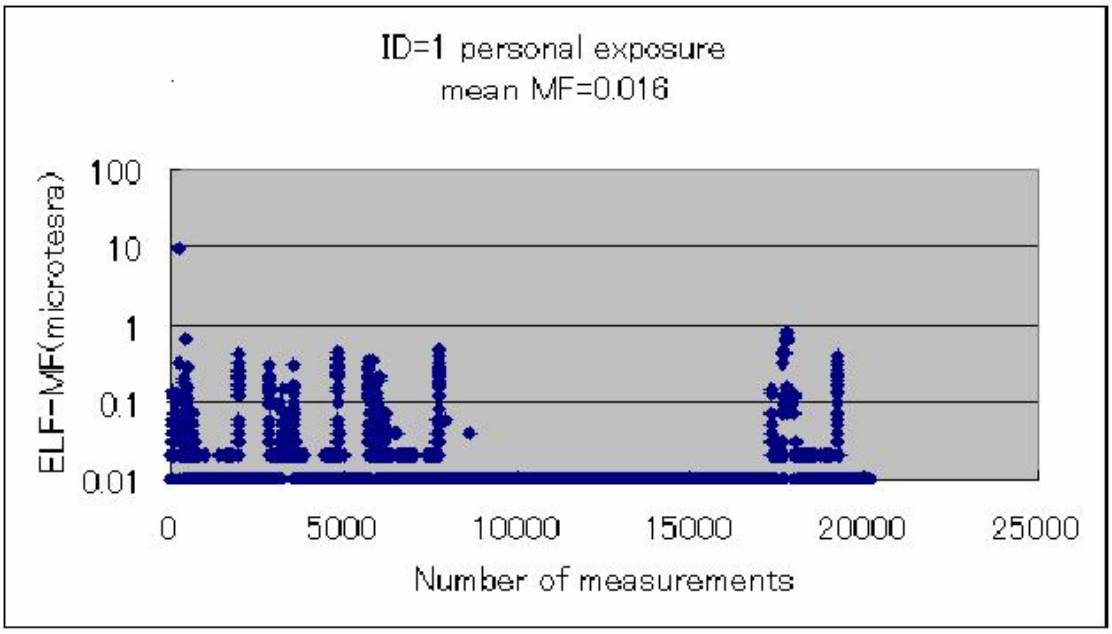




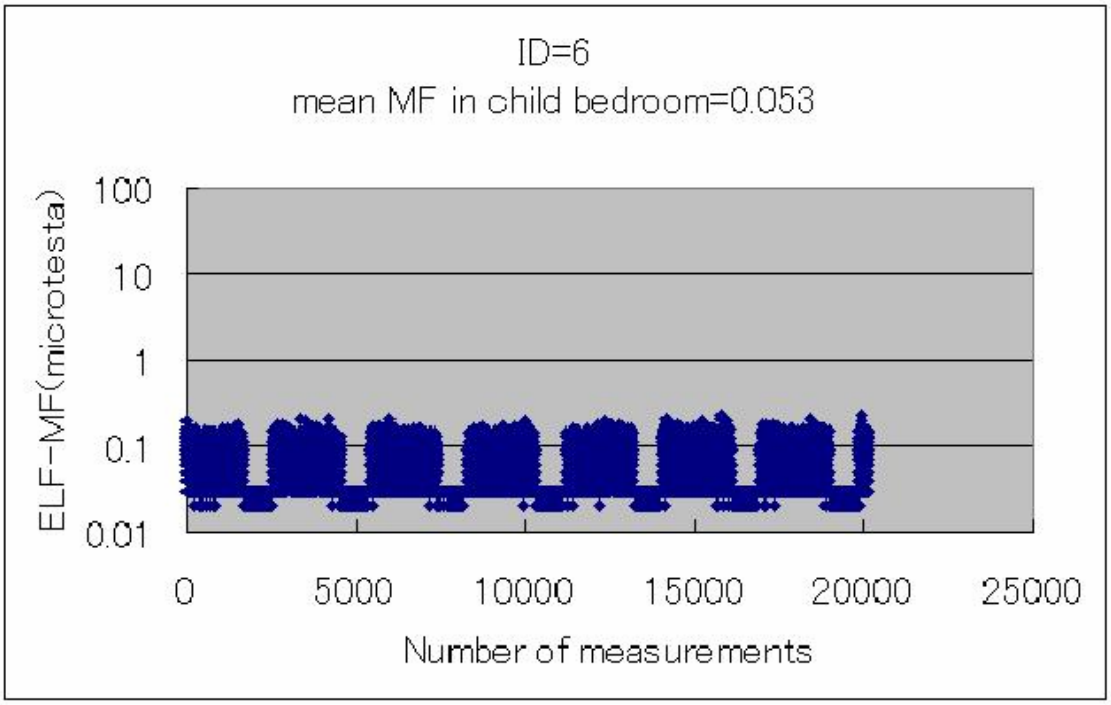
EC（＋）　＋電気こたつ　＋電気ストーブ

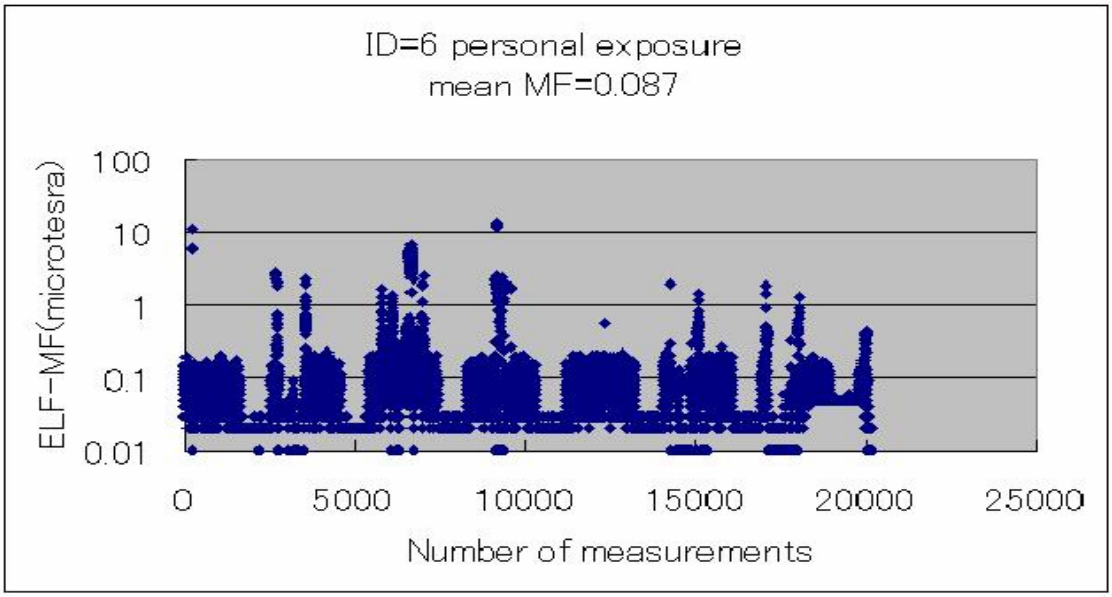
添付図 5 :「子供の寝室の磁界レベル」も個人曝露磁界レベルも 0.1μT であった４２例


ID=1
mean MF in child bedroom=0.015
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

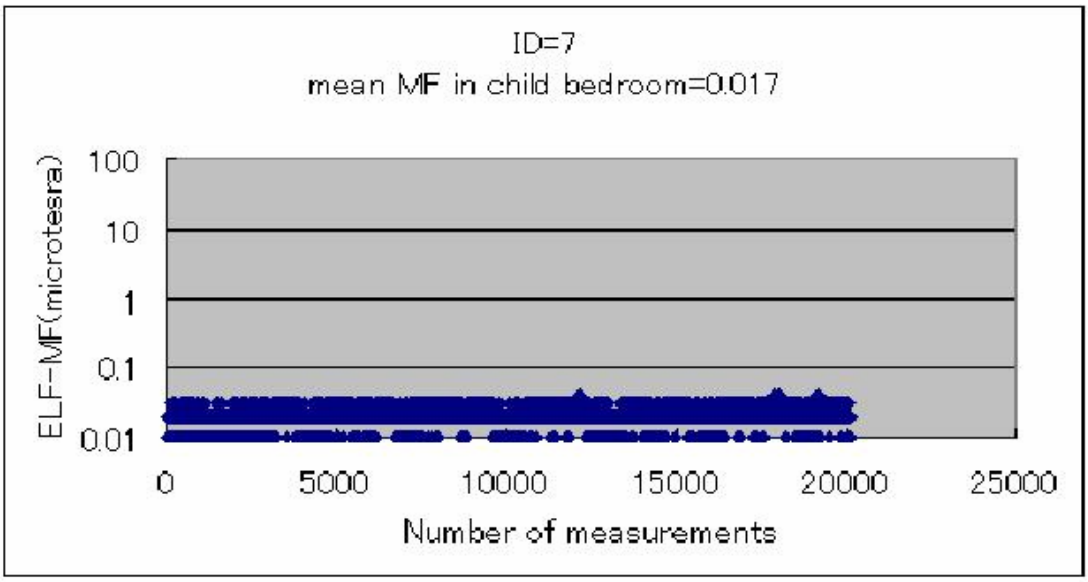

ID=1 personal exposure
mean MF=0.016
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

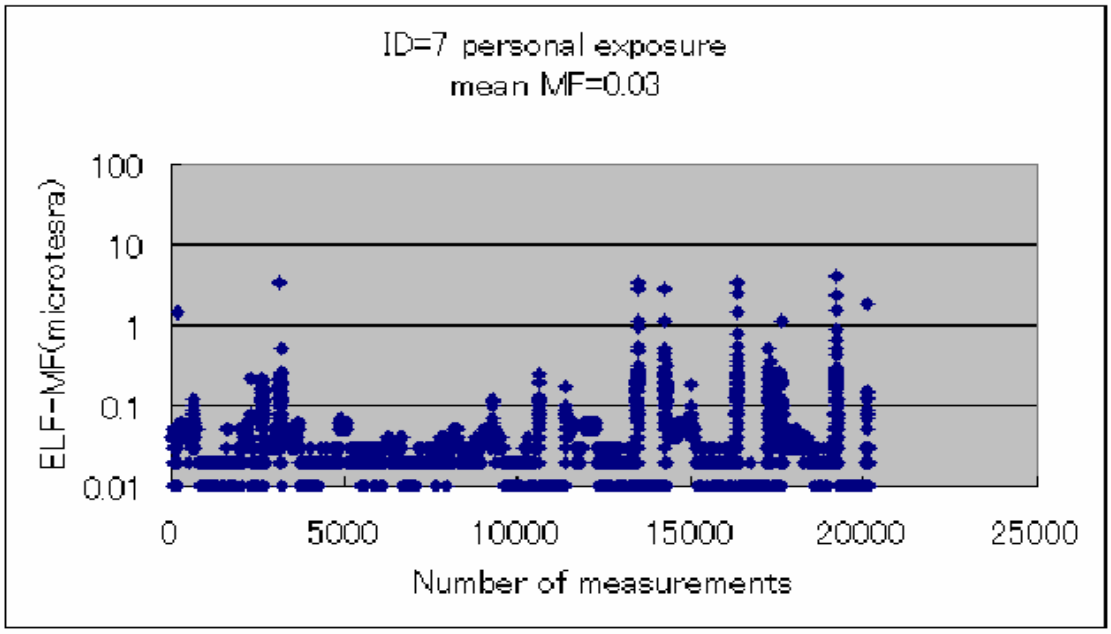
EC（－）　＋電気ストーブ


ID=6
mean MF in child bedroom=0.053
ELF-MF(microtesta)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

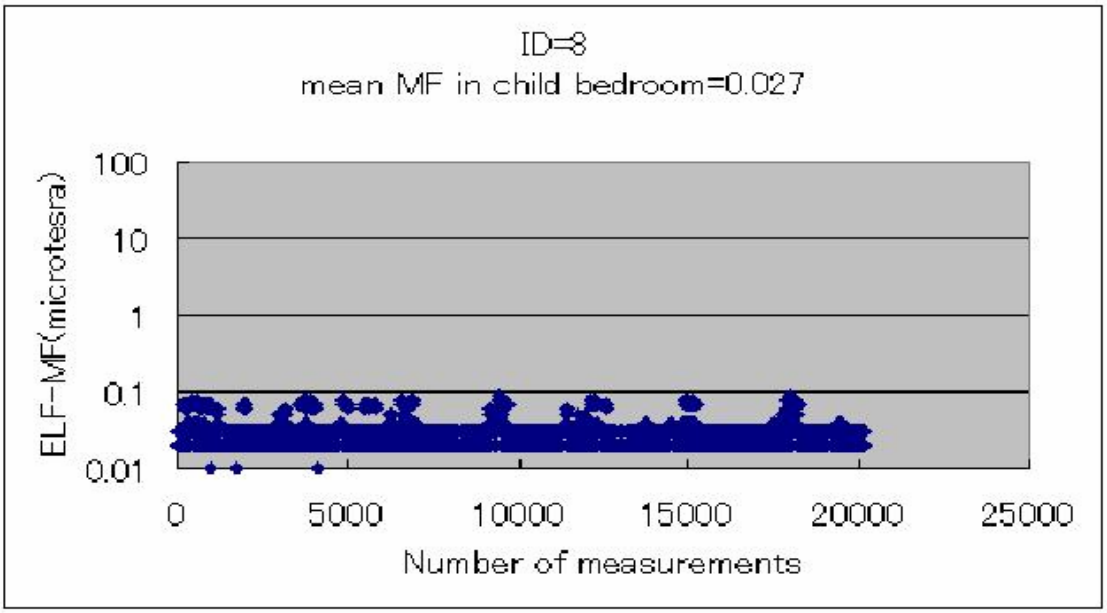

ID=6 personal exposure
mean MF=0.087
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

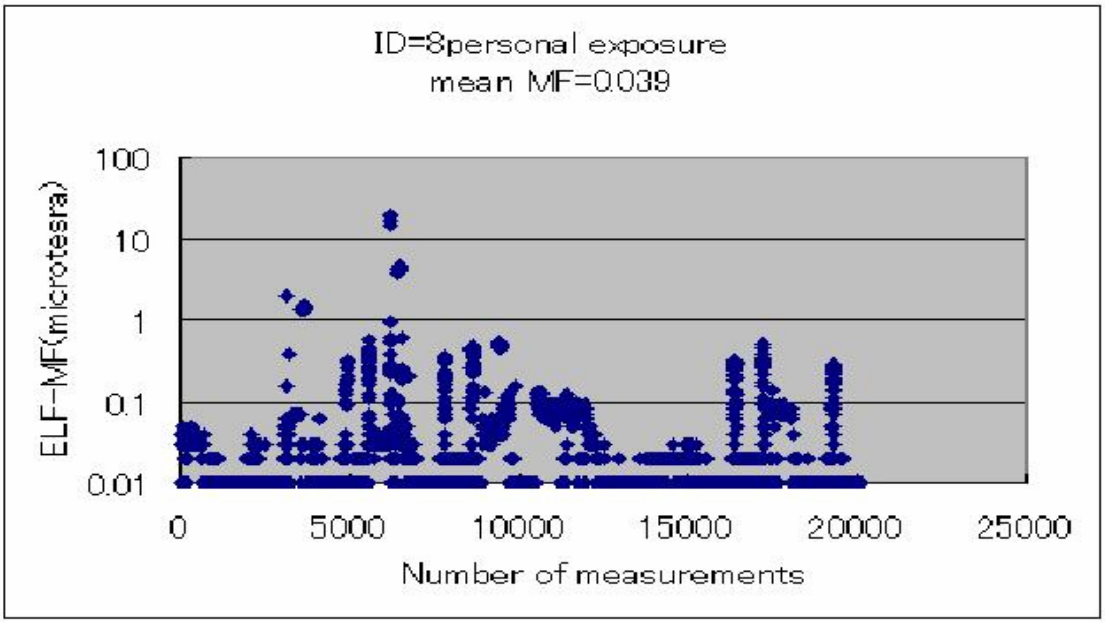
EC（－）


ID=7
mean MF in child bedroom=0.017
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

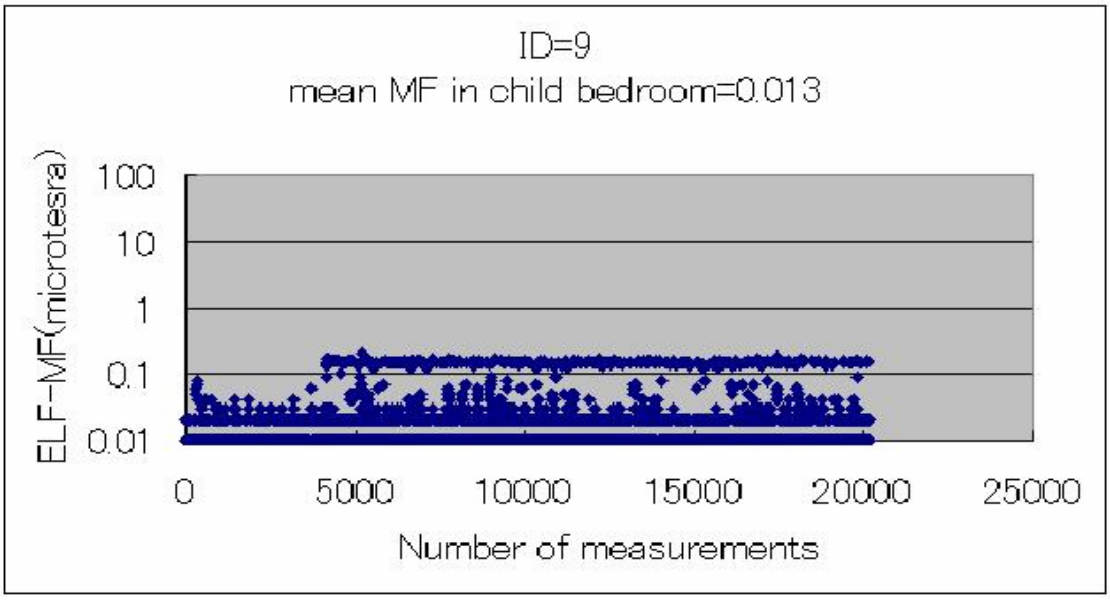

ID=7 personal exposure
mean MF=0.03
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

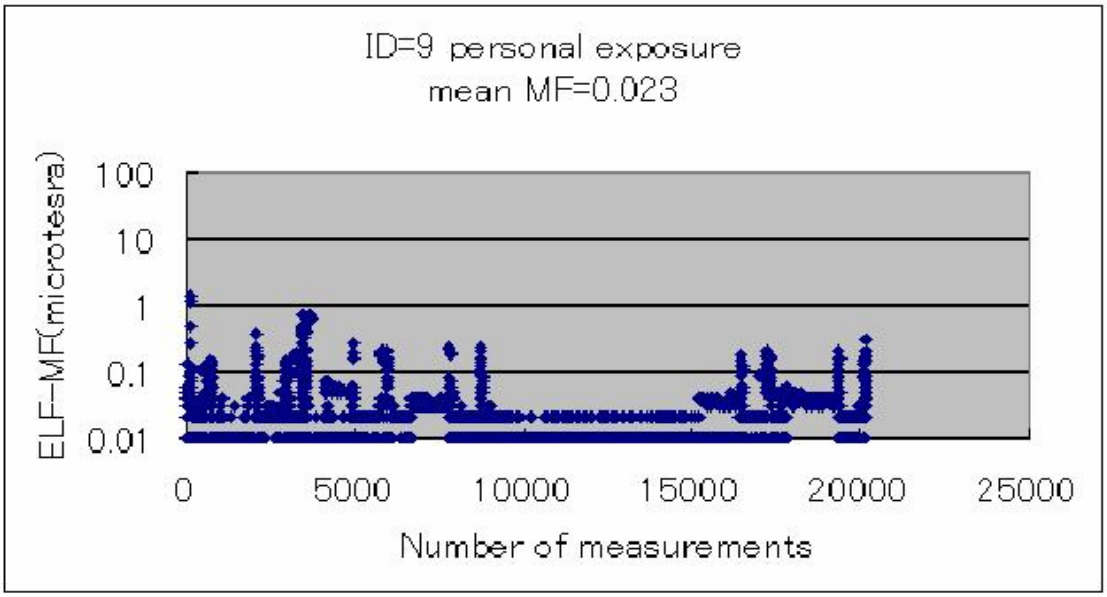
EC（+）


ID=8
mean MF in child bedroom=0.027
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

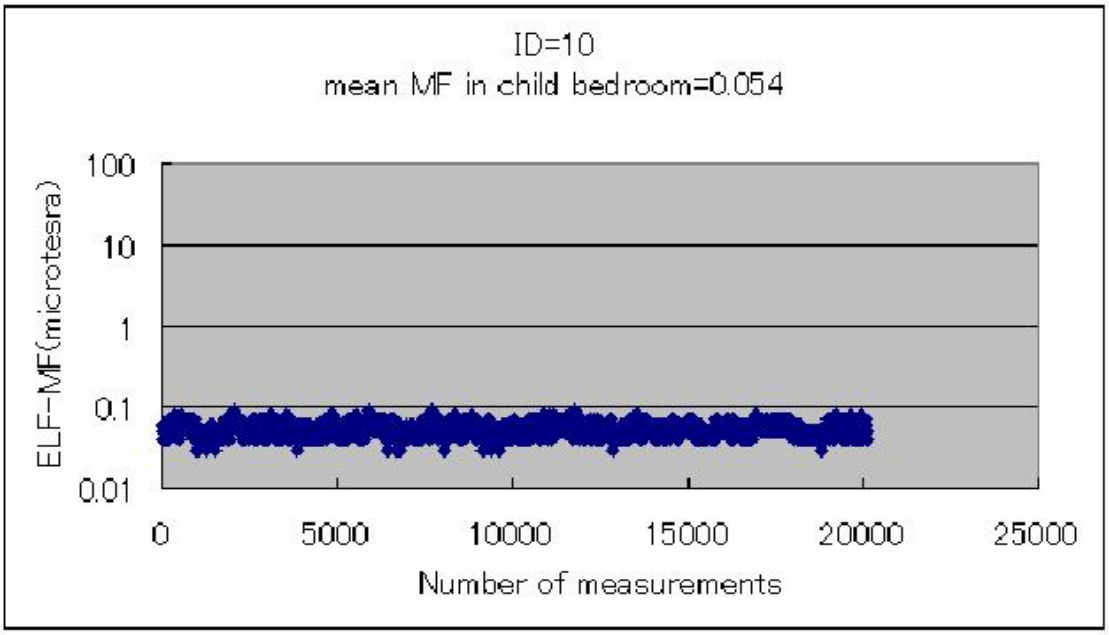

ID=8personal exposure
mean MF=0.039
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

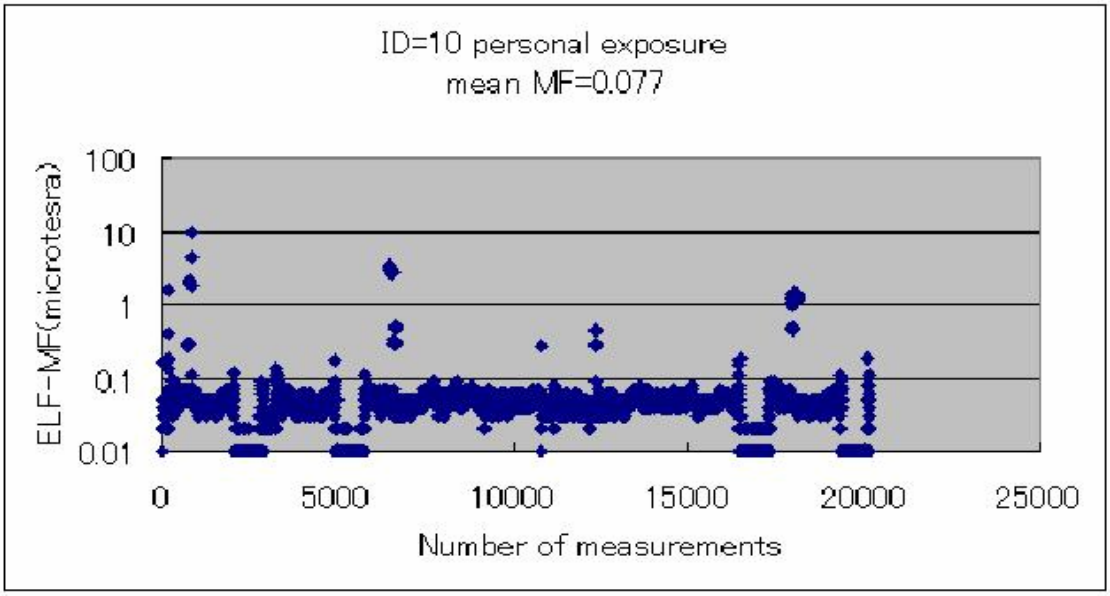
EC（＋）　＋電気ストーブ


ID=9
mean MF in child bedroom=0.013
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

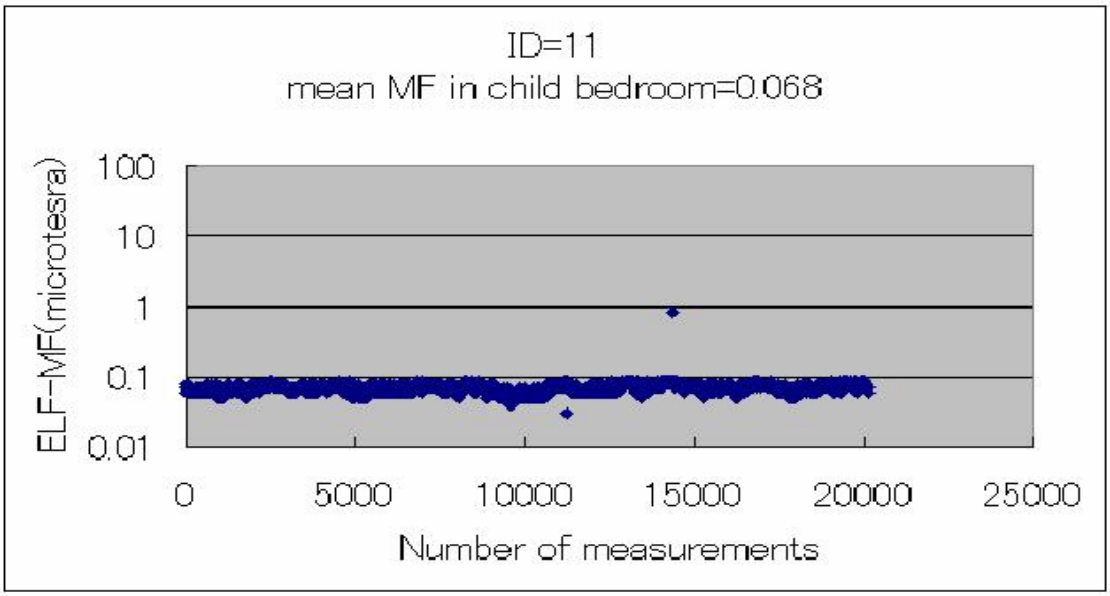

ID=9 personal exposure
mean MF=0.023
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

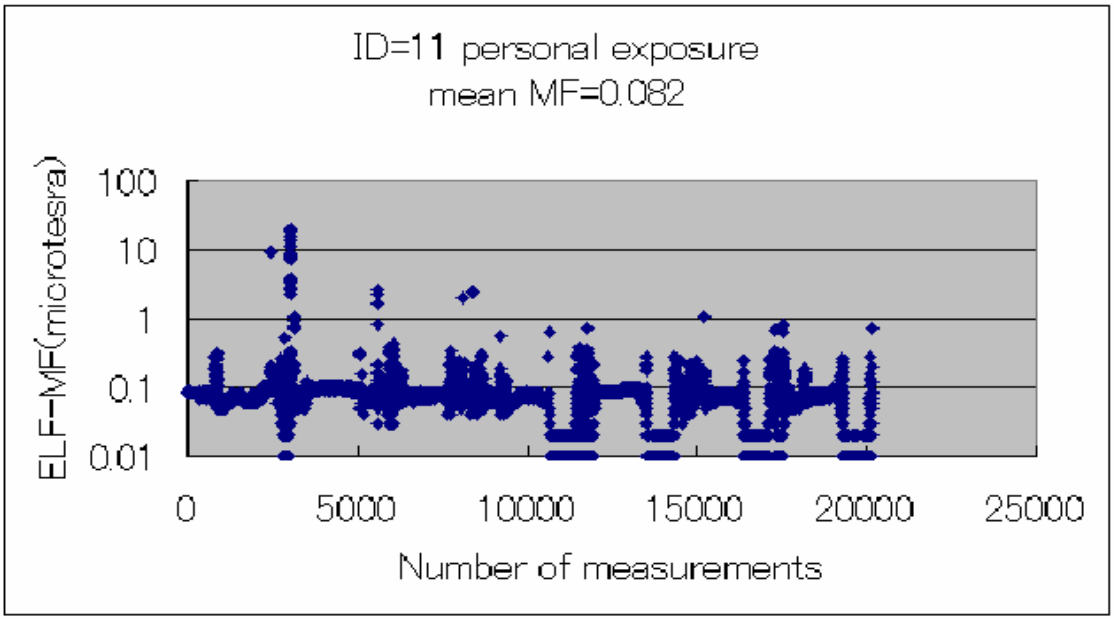
EC（＋）＋電気ストーブ


ID=10
mean MF in child bedroom=0.054
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

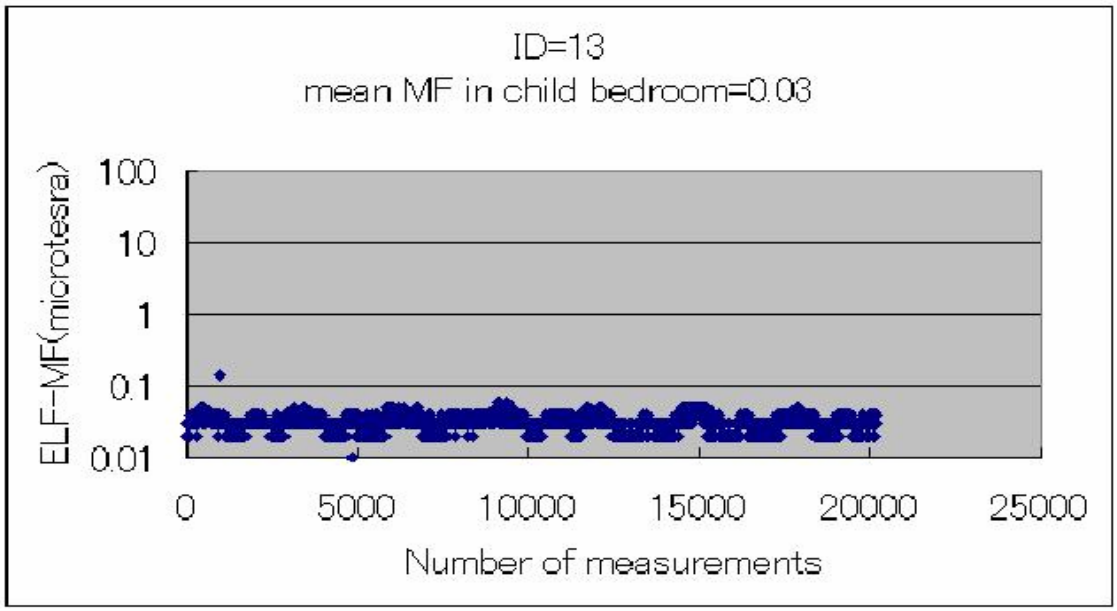

ID=10 personal exposure
mean MF=0.077
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

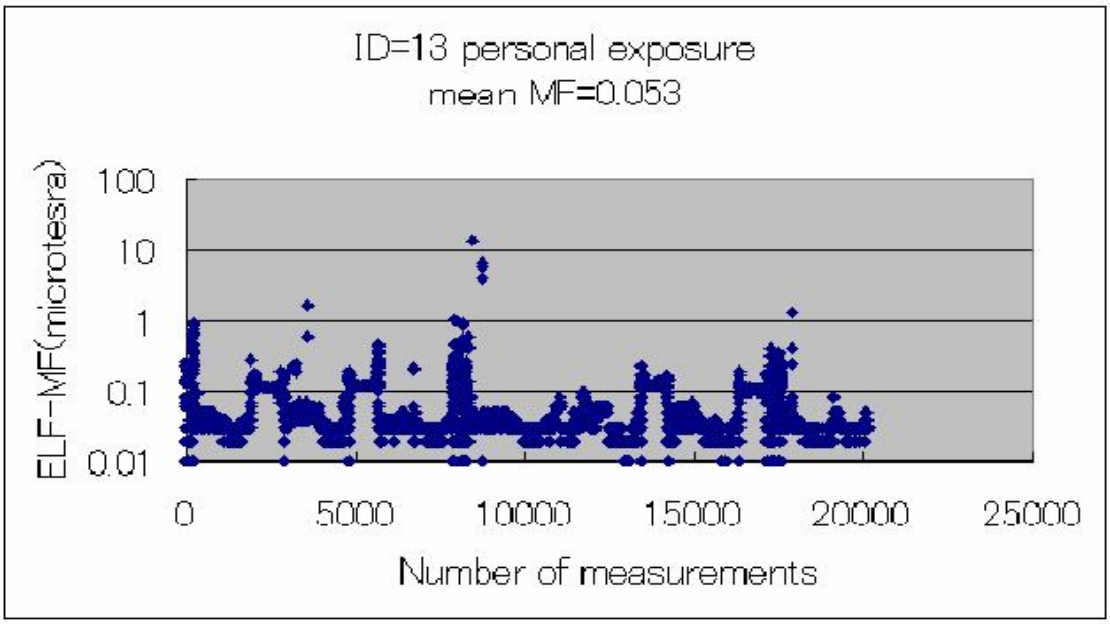
EC（－）



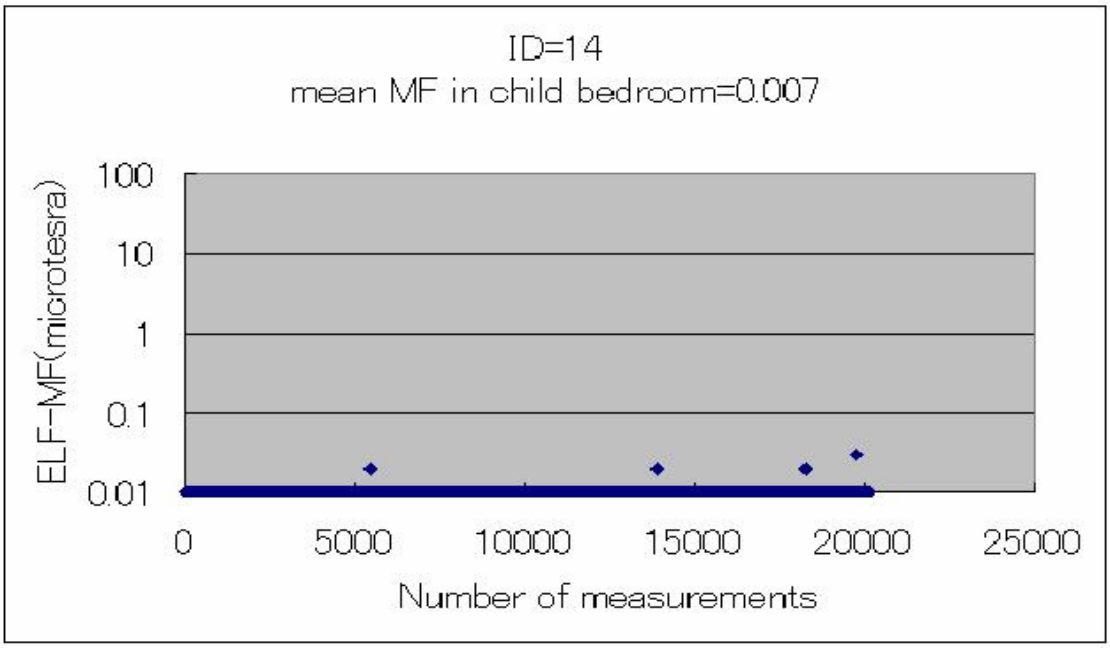


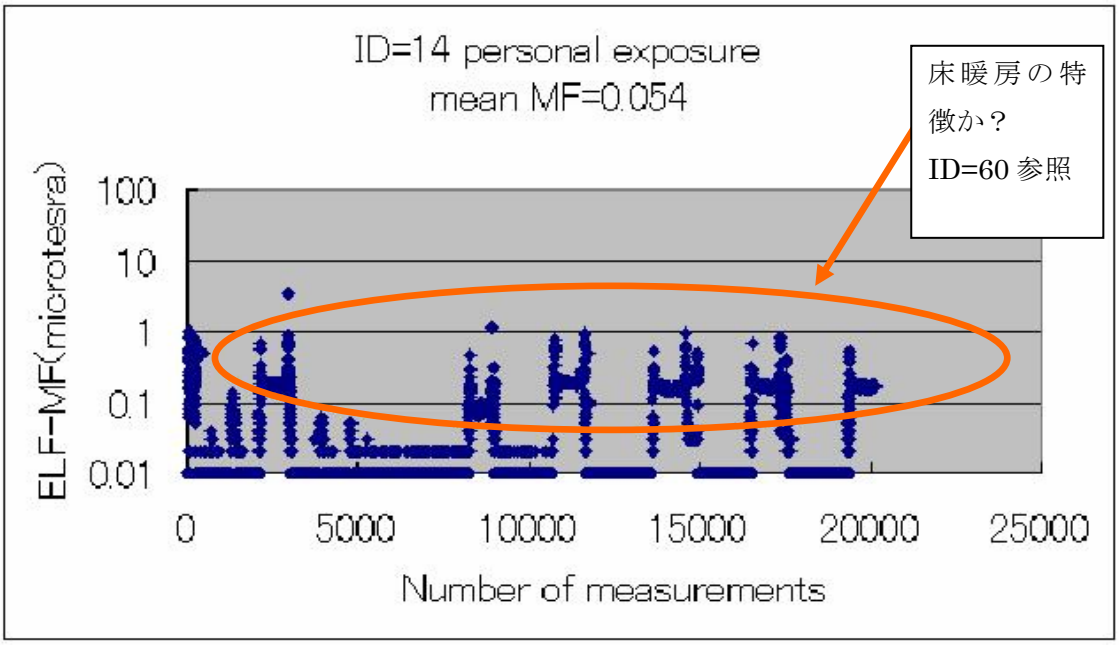
EC（－）　＋加湿器＋電気ストーブ


ID=13
mean MF in child bedroom=0.03
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

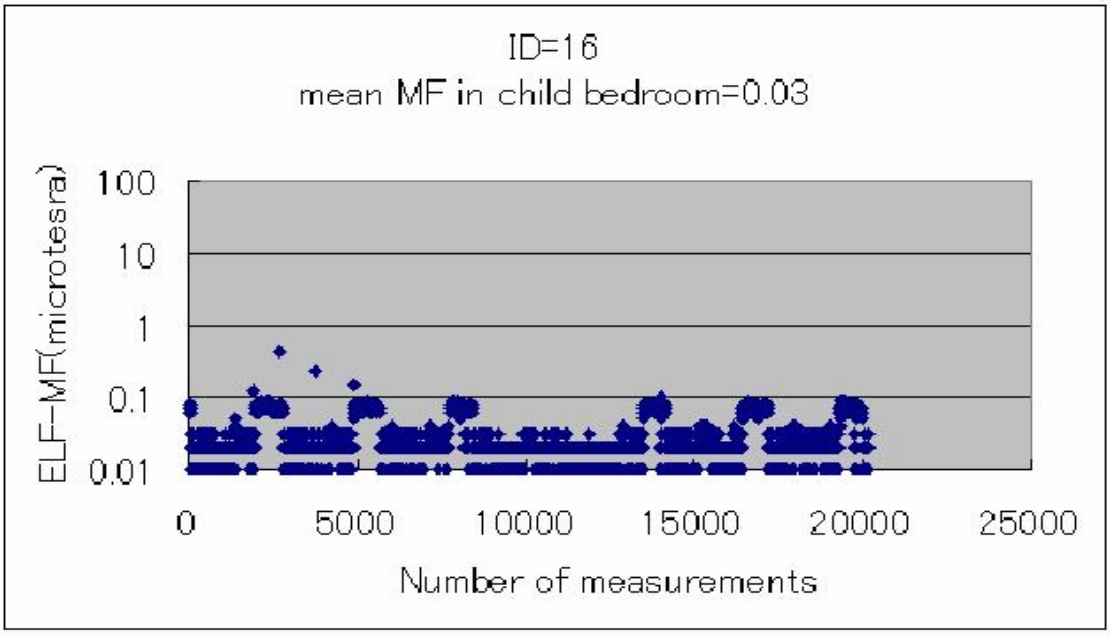

ID=13 personal exposure
mean MF=0.053
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

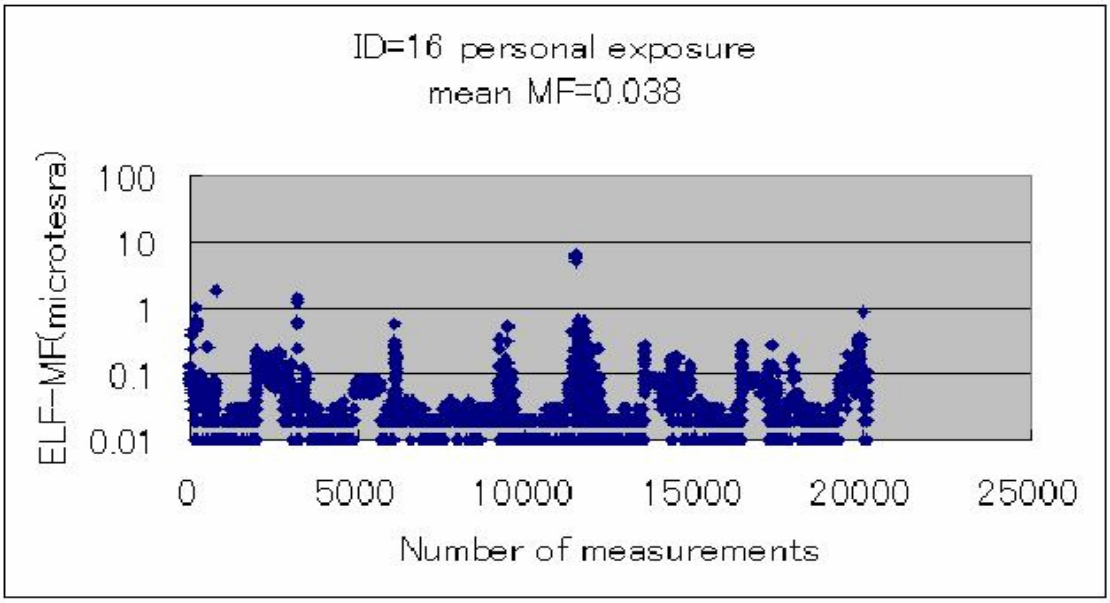
EC（＋）＋電気ストーブ


ID=14
mean MF in child bedroom=0.007
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

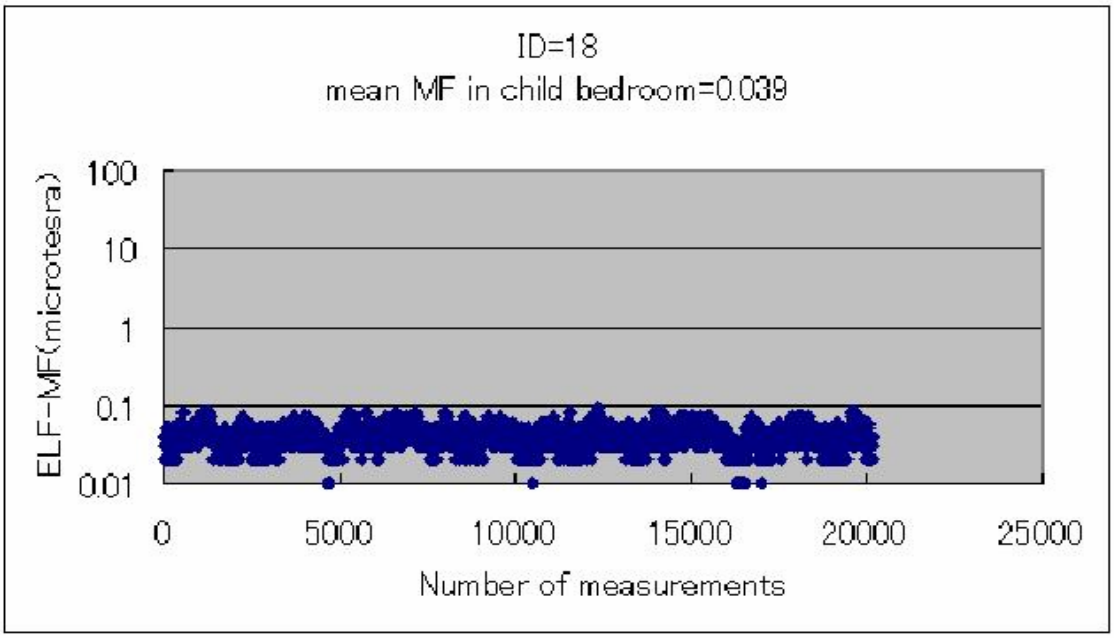

ID=14 personal exposure
mean MF=0.054
床暖房の特徴か？
ID=60 参照
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

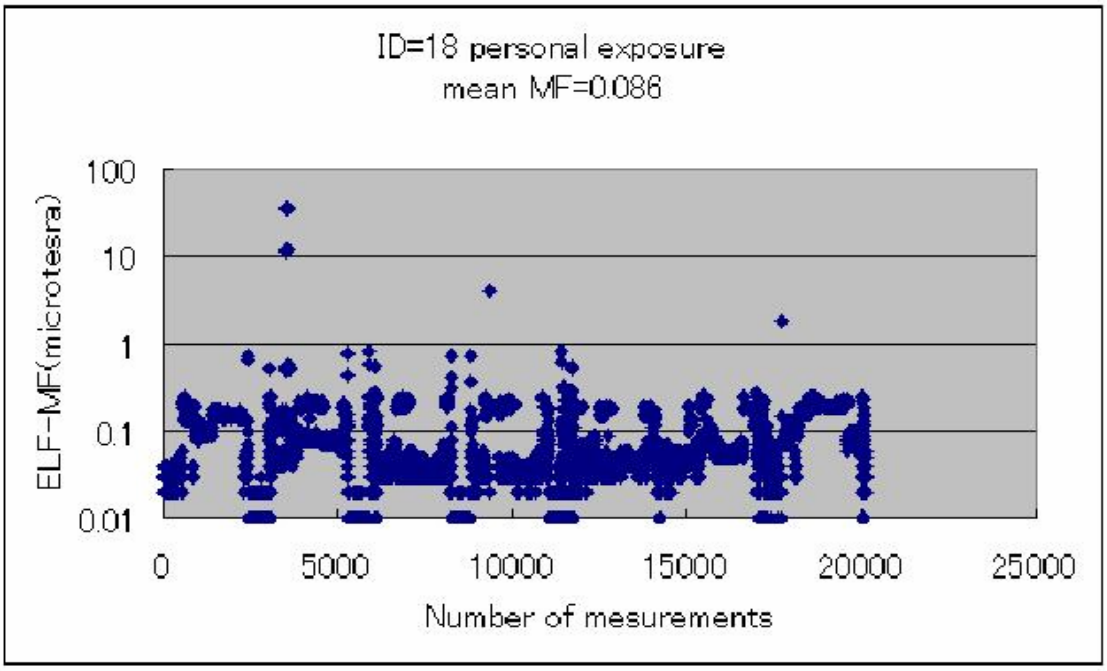
EC（－）　＋床暖房


ID=16
mean MF in child bedroom=0.03
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

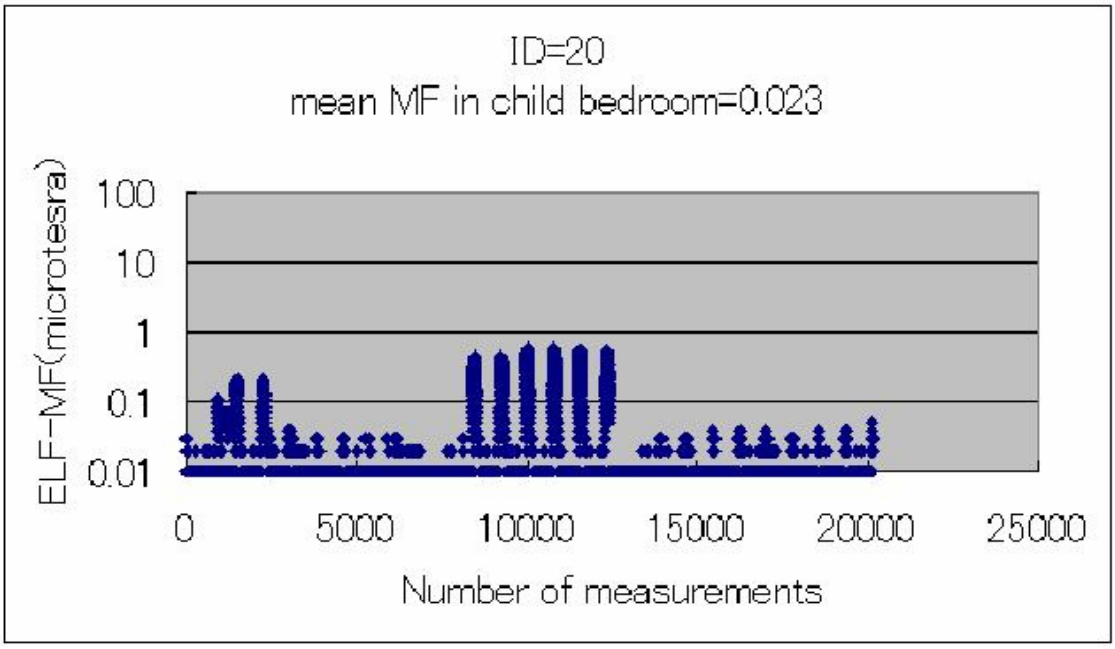

ID=16 personal exposure
mean MF=0.038
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

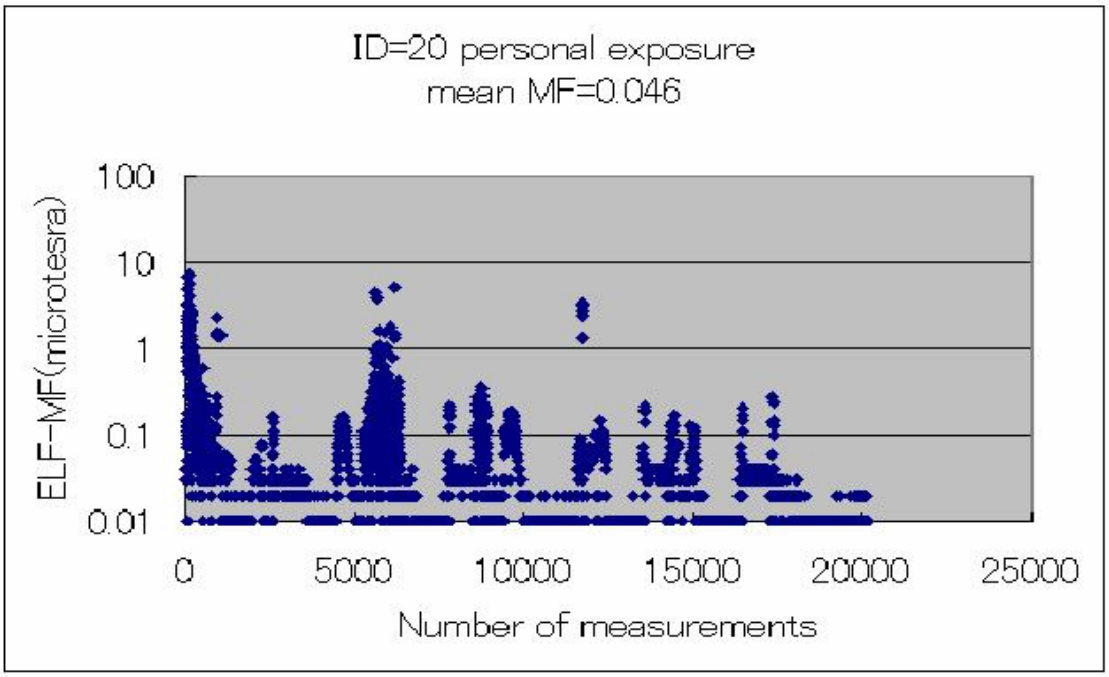
EC（＋）＋電気ストーブ


ID=18
mean MF in child bedroom=0.039
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

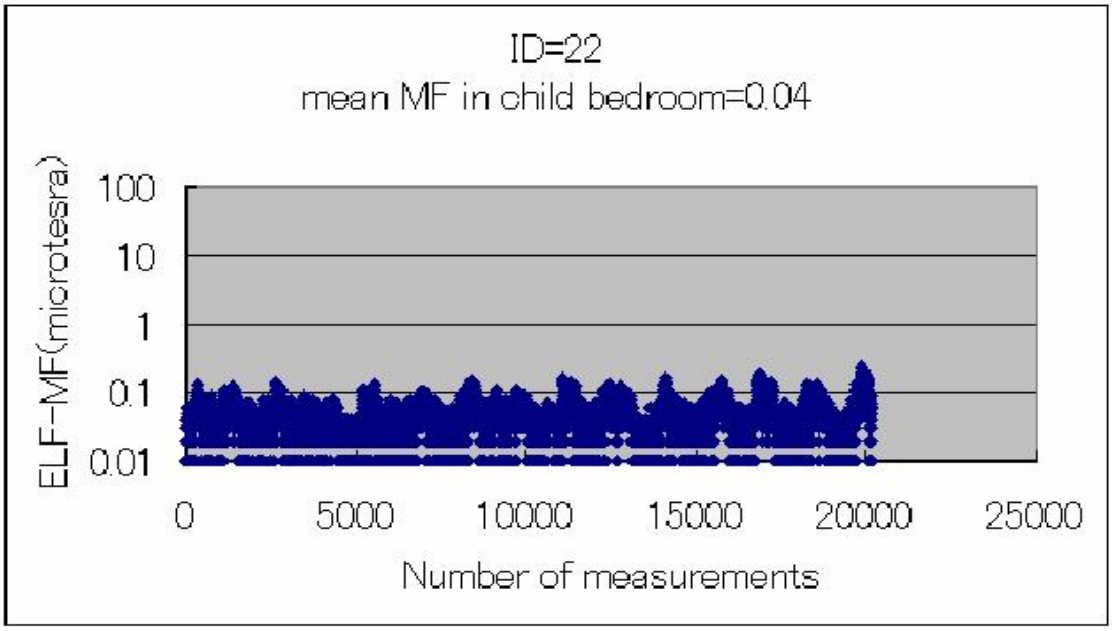

ID=18 personal exposure
mean MF=0.086
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of mesurements

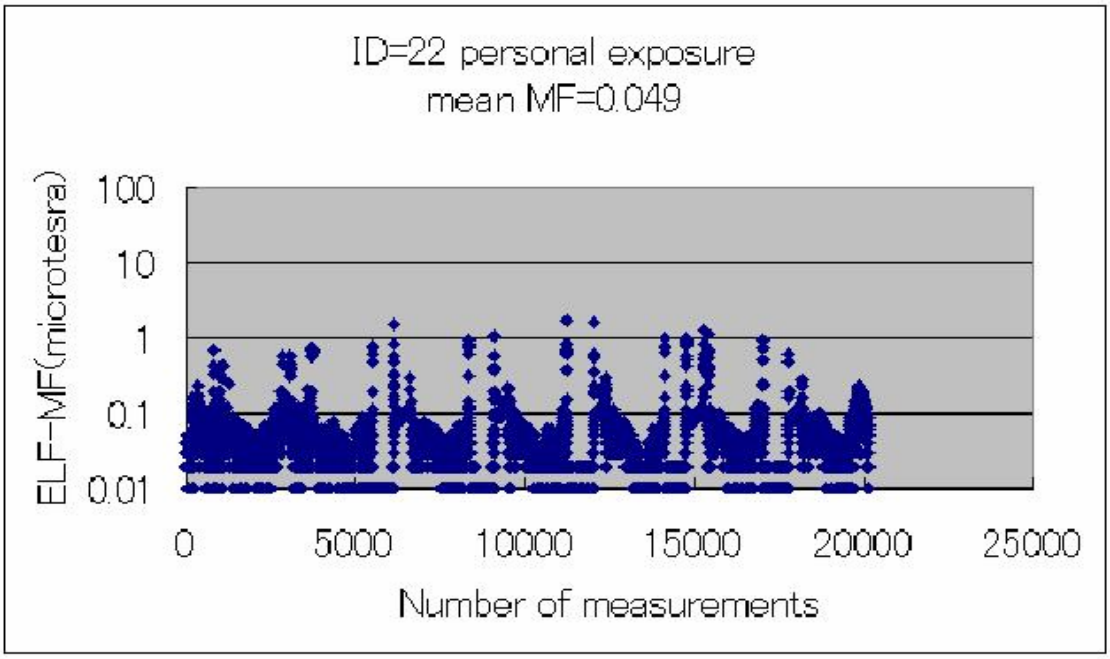
EC（＋）＋電気こたつ＋加湿器


ID=20
mean MF in child bedroom=0.023
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

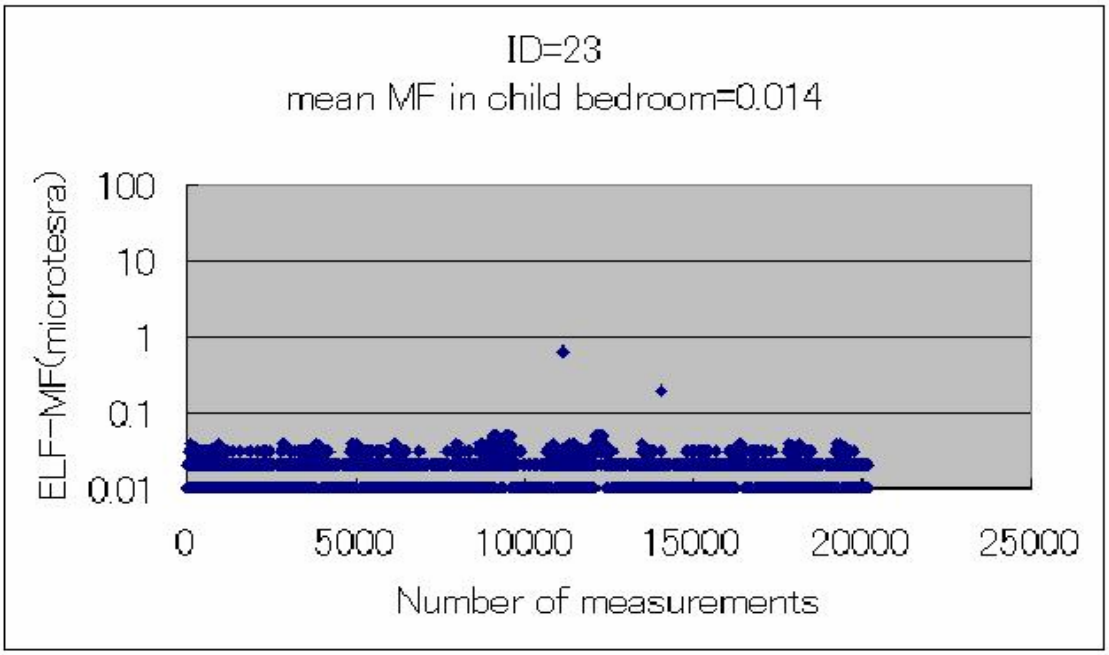

ID=20 personal exposure
mean MF=0.046
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

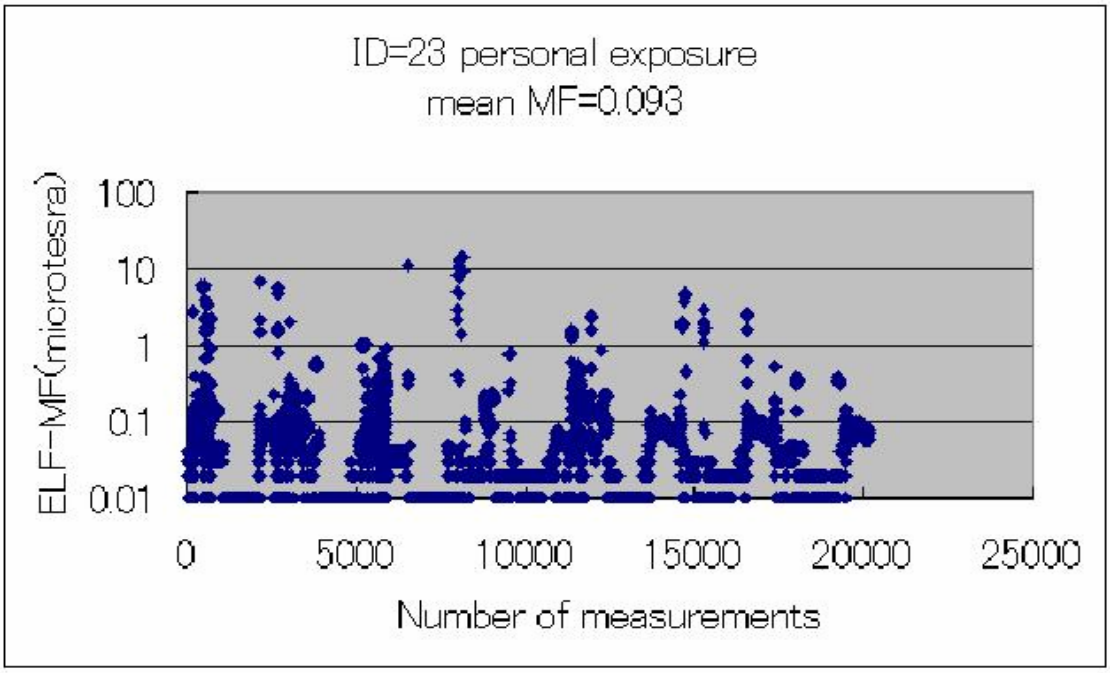
EC（＋）＋電気ストーブ


ID=22
mean MF in child bedroom=0.04
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

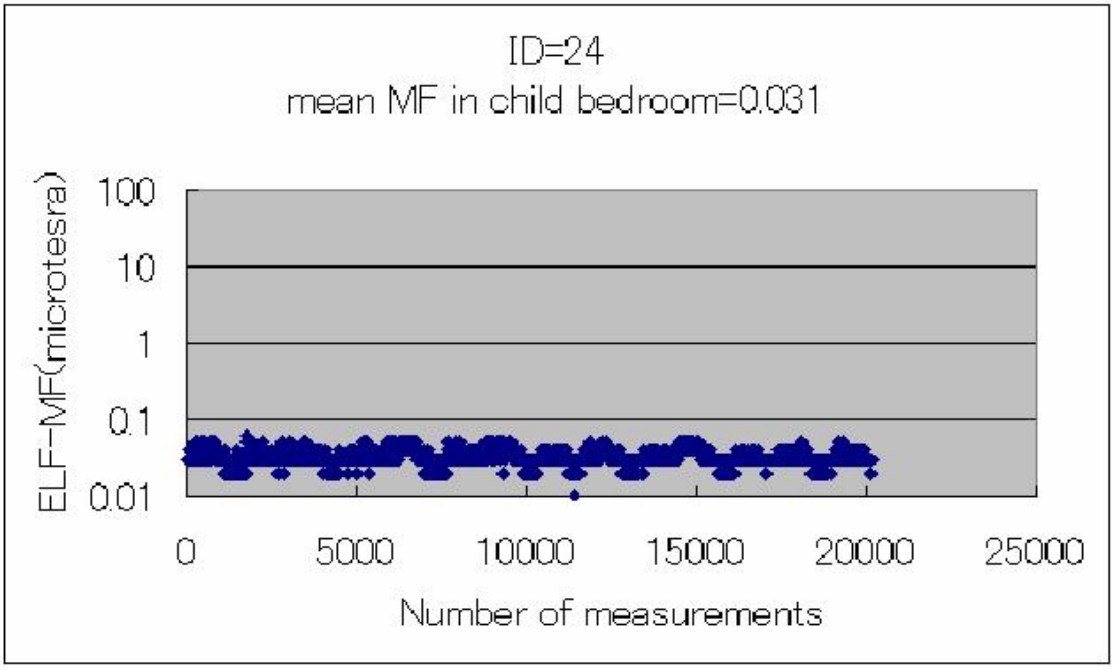

ID=22 personal exposure
mean MF=0.049
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

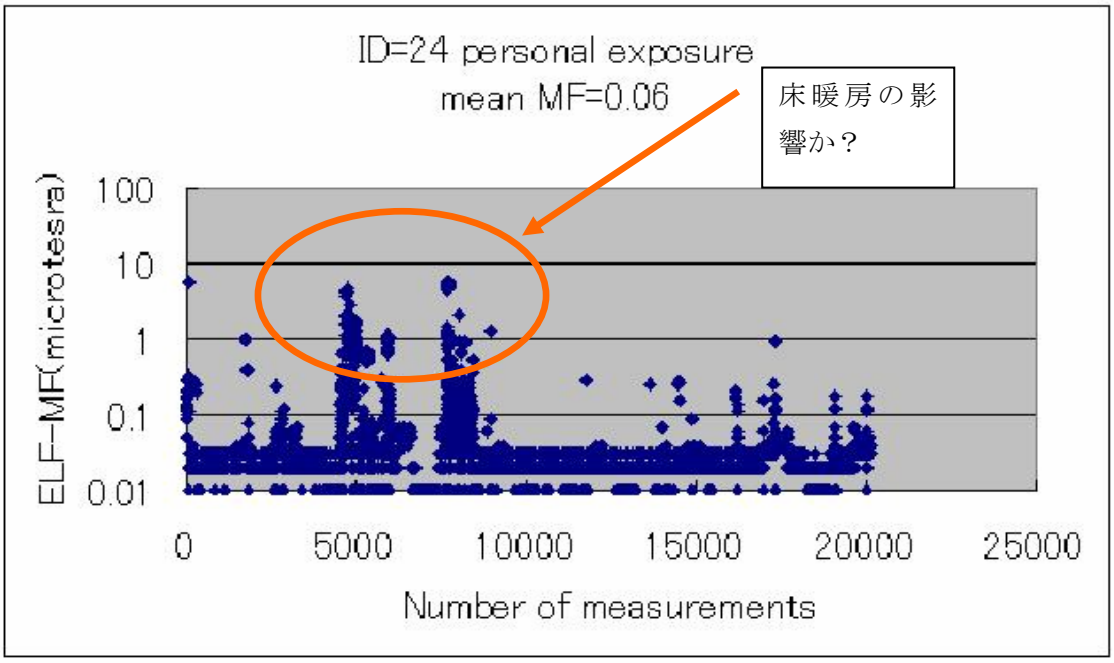
EC（－）


ID=23
mean MF in child bedroom=0.014
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

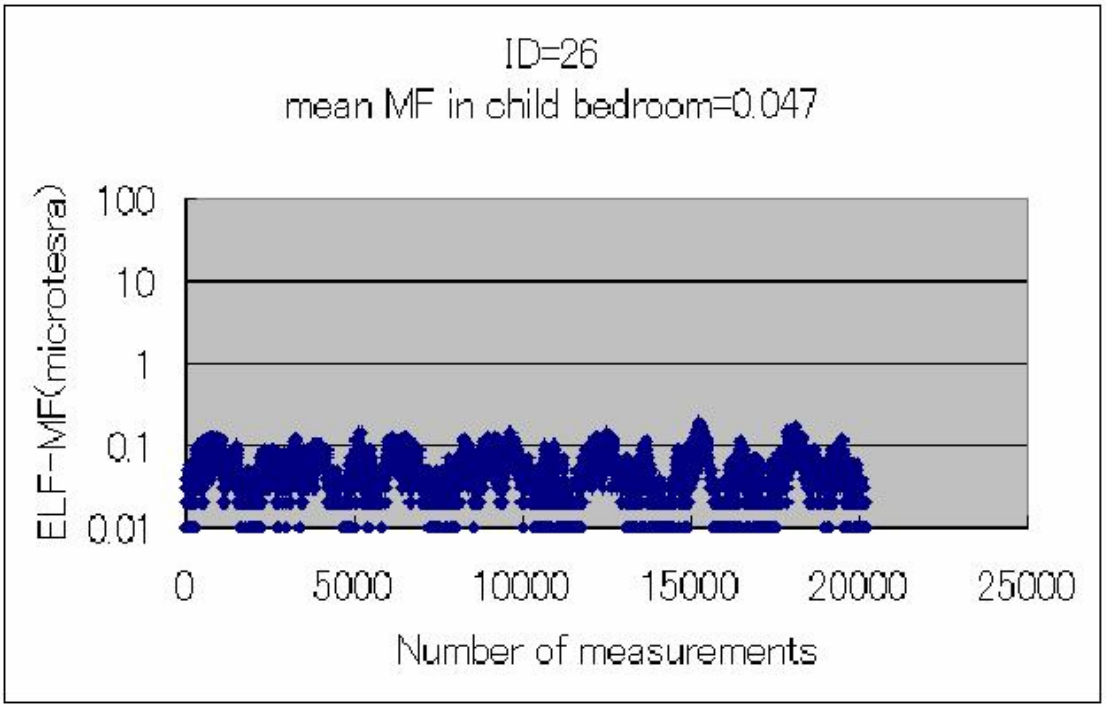

ID=23 personal exposure
mean MF=0.093
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

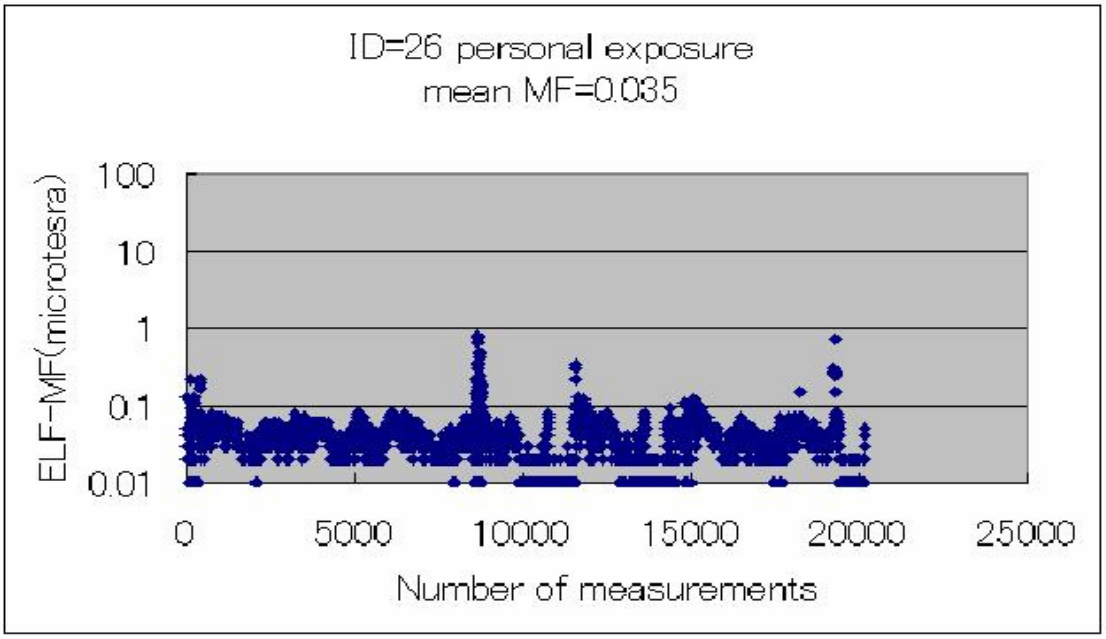
EC（－）


ID=24
mean MF in child bedroom=0.031
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

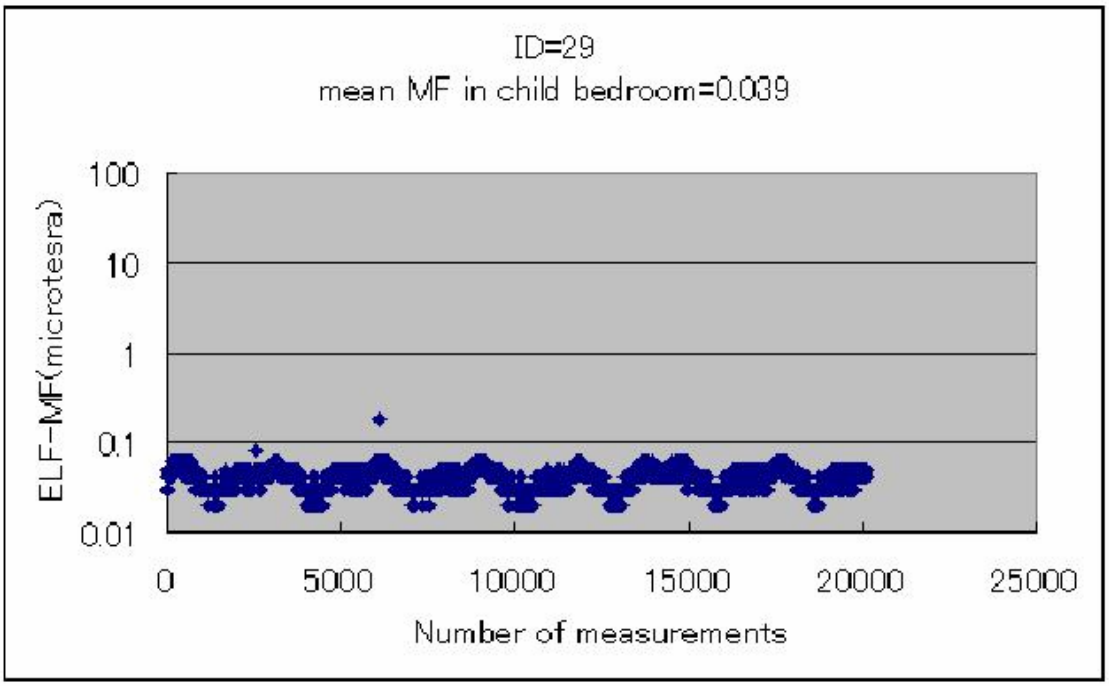

ID=24 personal exposure
mean MF=0.06
床暖房の影響か？
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

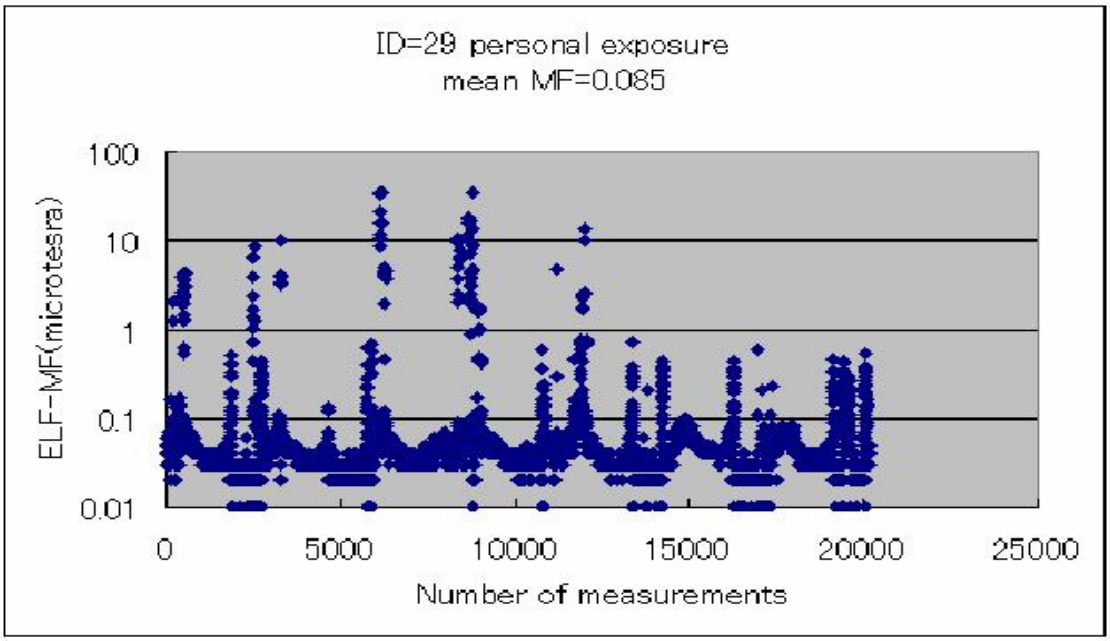
EC（－）　＋床暖房


ID=26
mean MF in child bedroom=0.047
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

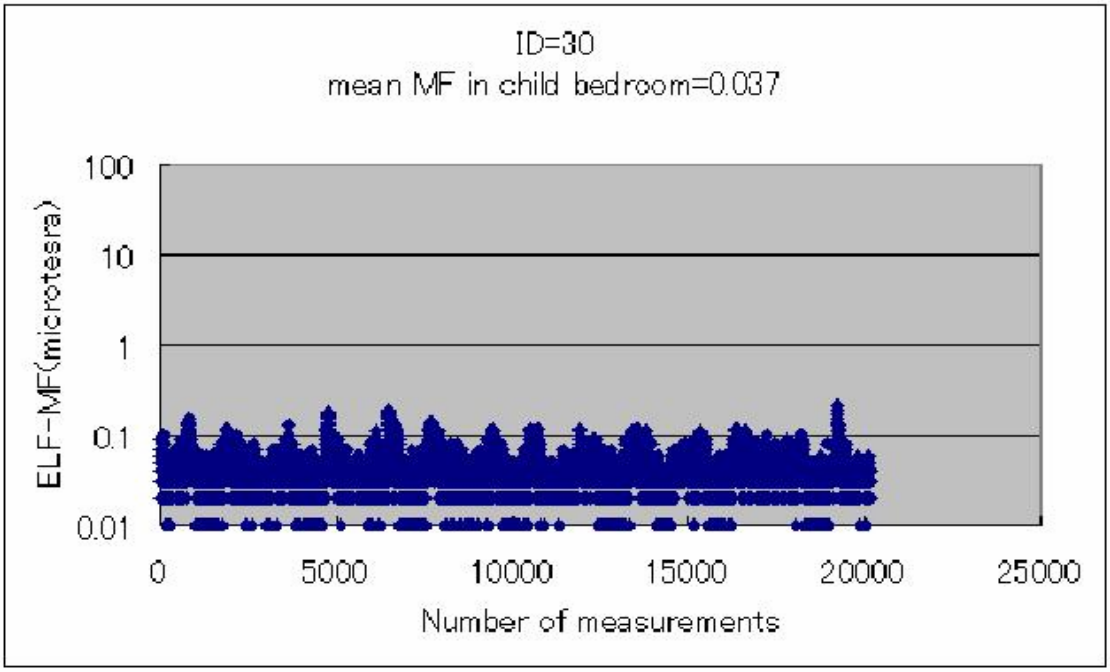

ID=26 personal exposure
mean MF=0.035
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

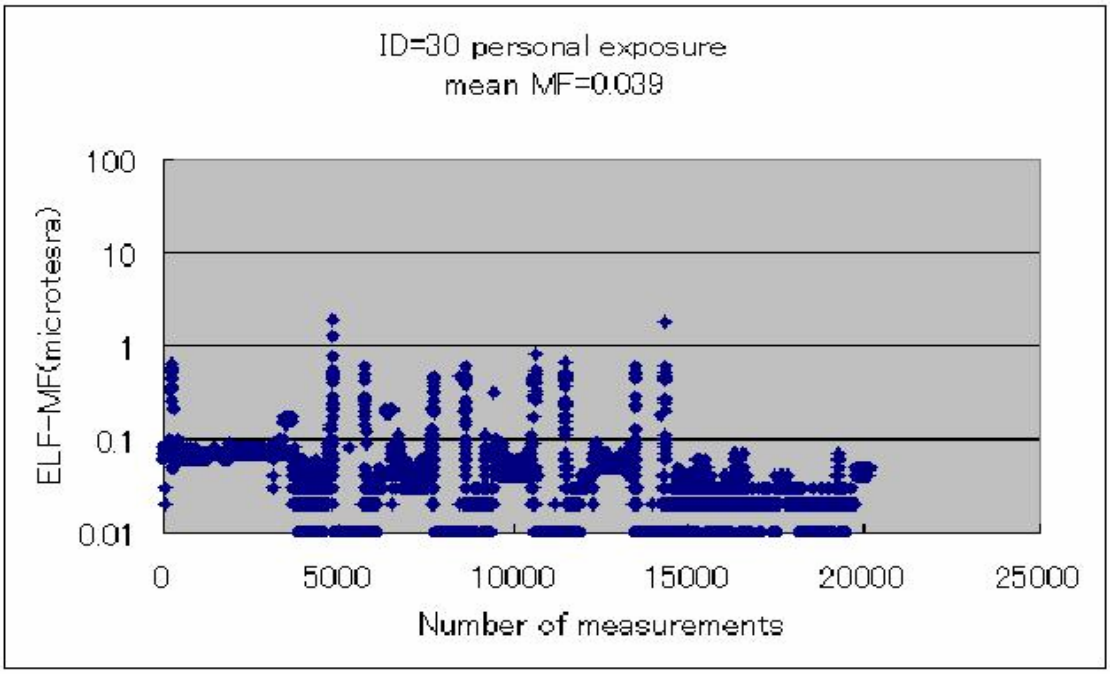
EC（－）


ID=29
mean MF in child bedroom=0.039
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

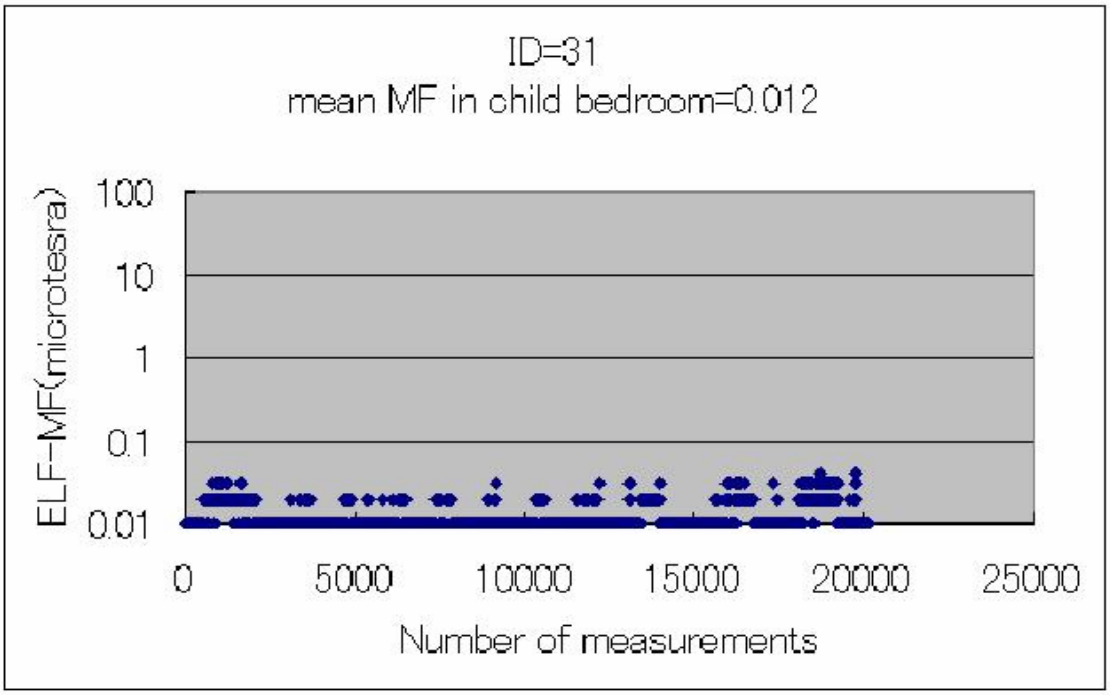

ID=29 personal exposure
mean MF=0.085
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

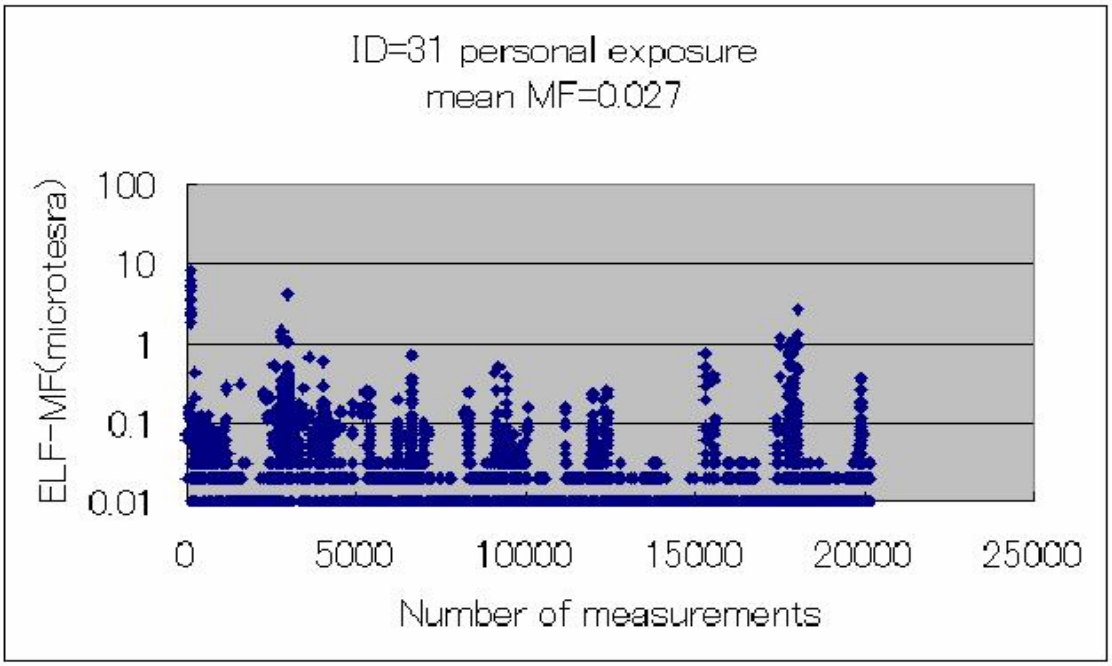
EC（+）


ID=30
mean MF in child bedroom=0.037
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

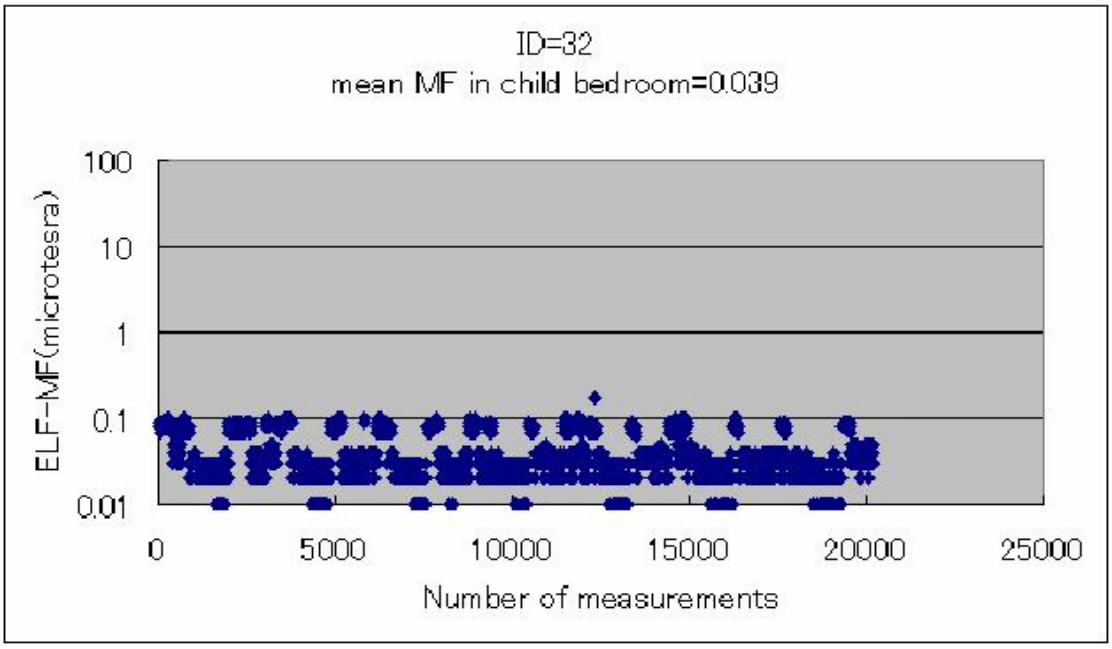

ID=30 personal exposure
mean MF=0.039
100
10
1
0.1
0.01
ELF-MF(microtesra)
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

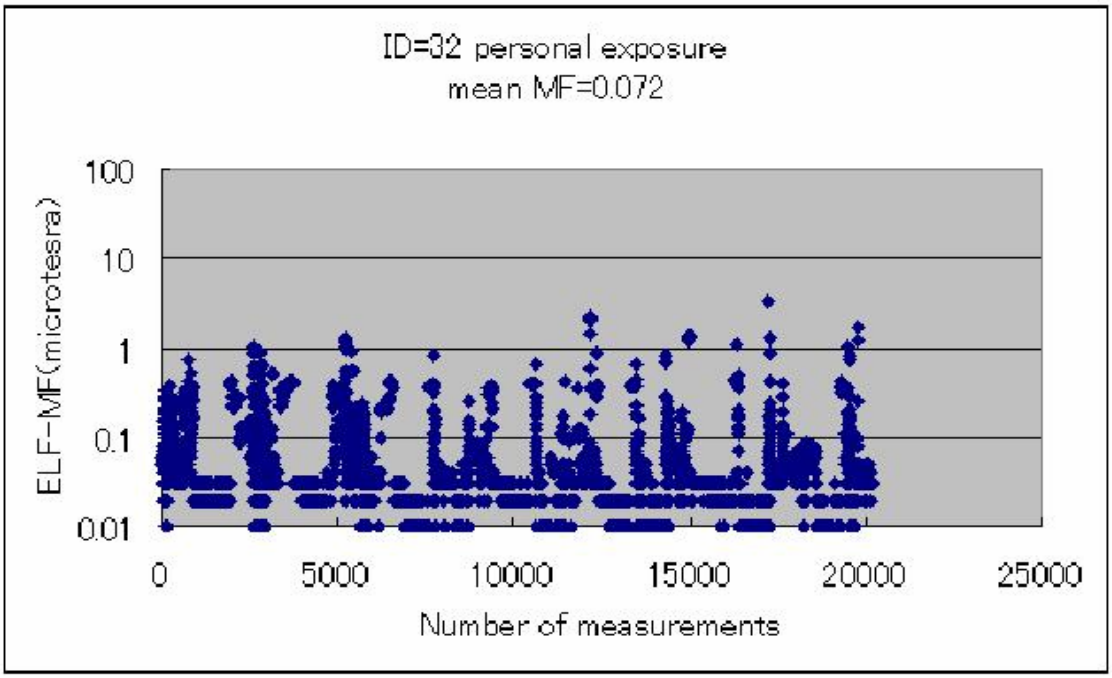
EC（－）


ID=31
mean MF in child bedroom=0.012
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

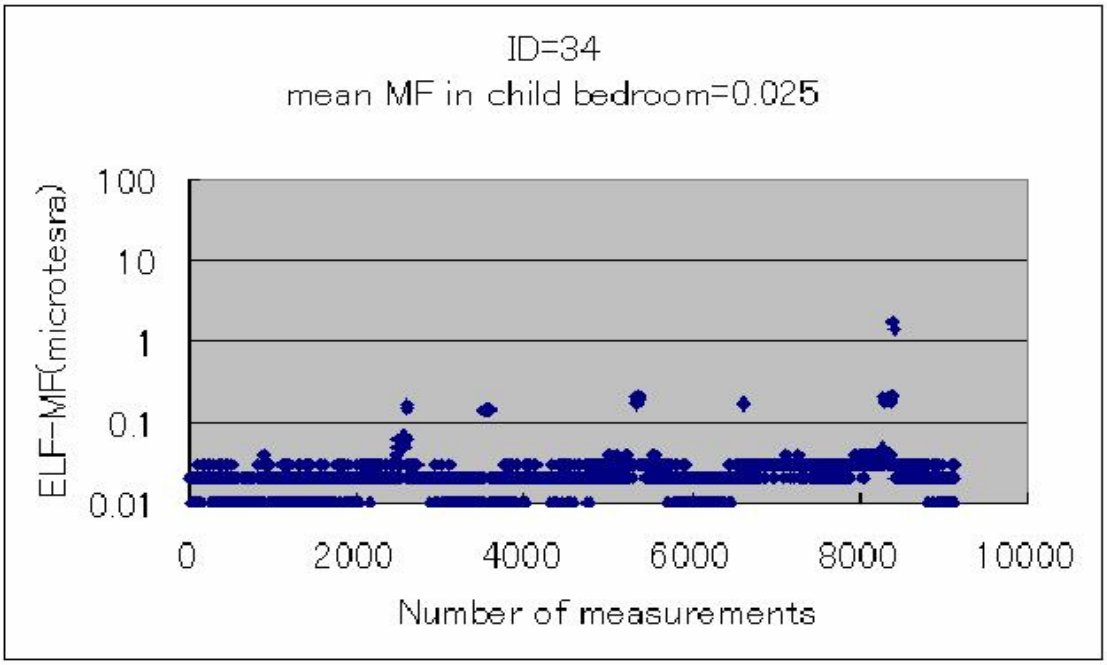

ID=31 personal exposure
mean MF=0.027
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

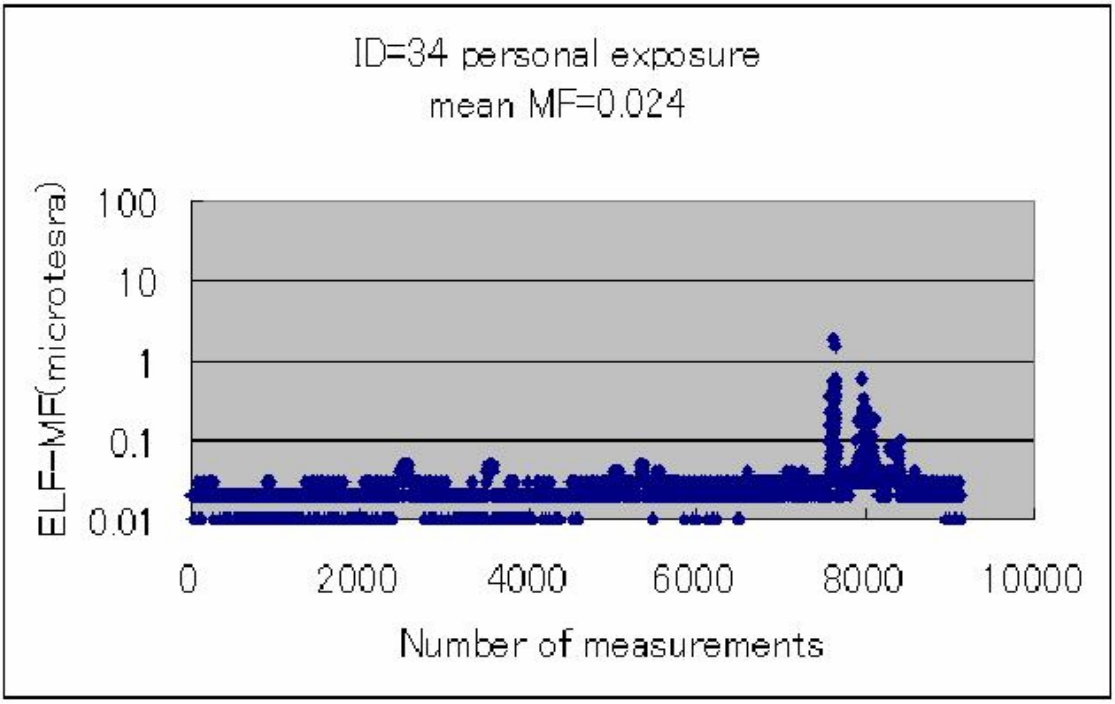
EC (+)


ID=32
mean MF in child bedroom=0.039
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

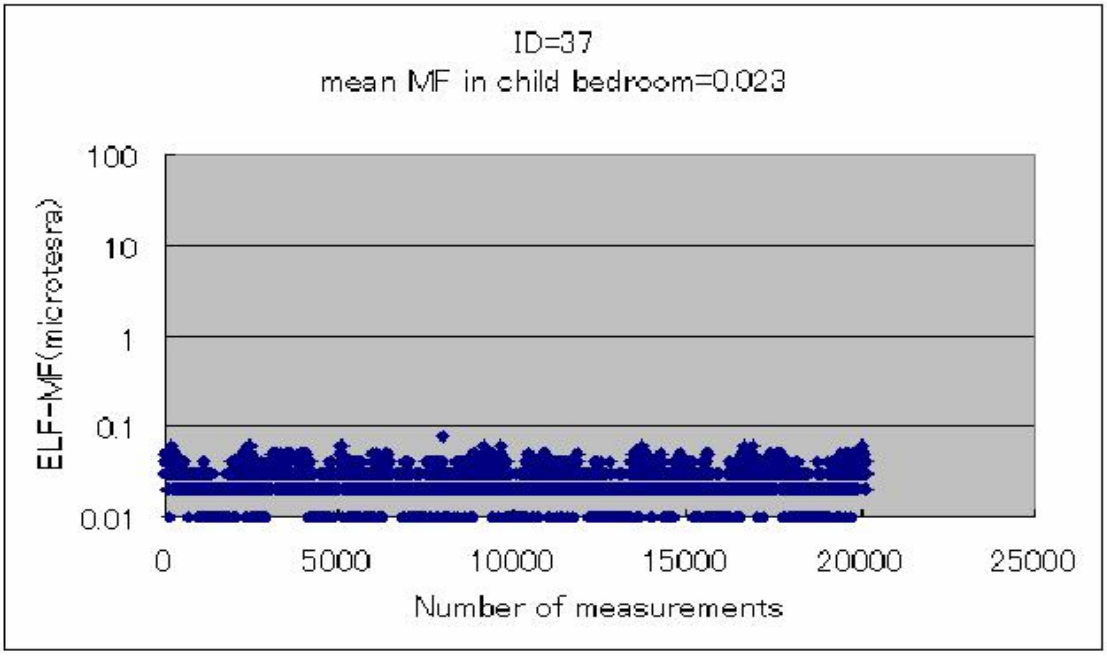

ID=32 personal exposure
mean MF=0.072
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

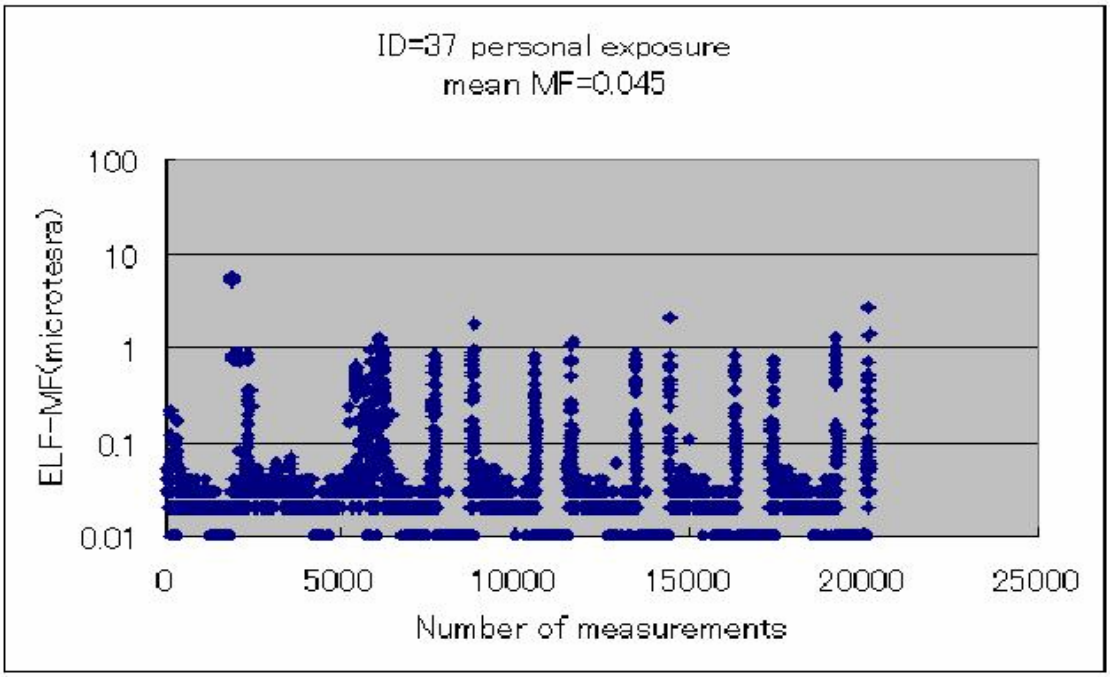
EC（－）


ID=34
mean MF in child bedroom=0.025
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
2000
4000
6000
8000
10000
Number of measurements

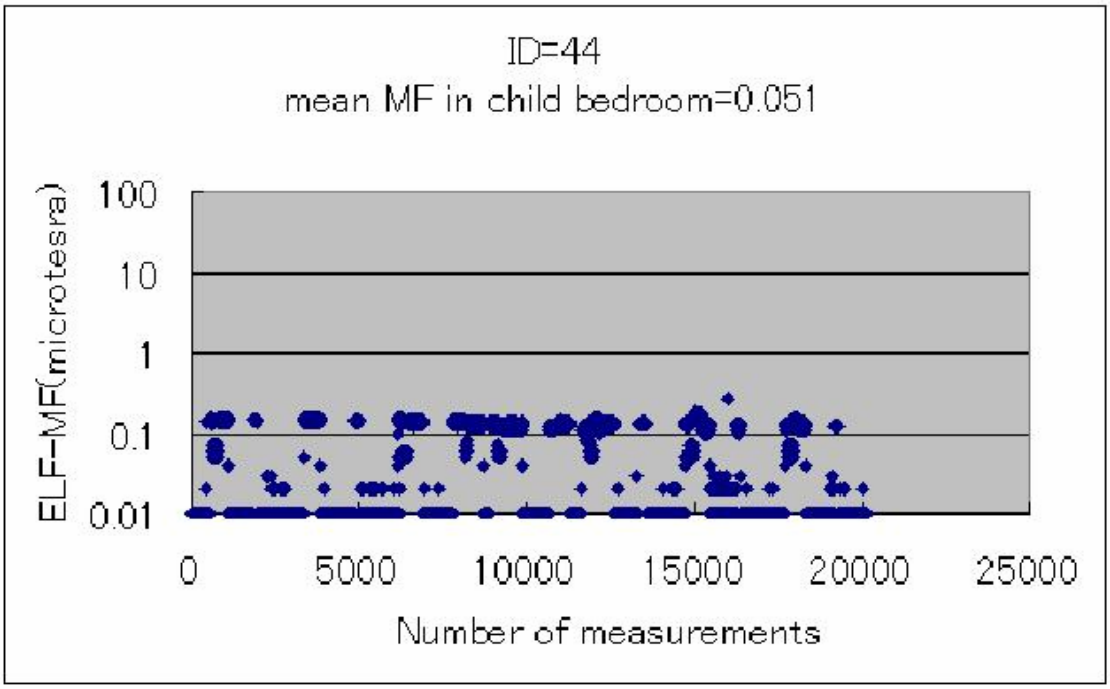

ID=34 personal exposure
mean MF=0.024
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
2000
4000
6000
8000
10000
Number of measurements

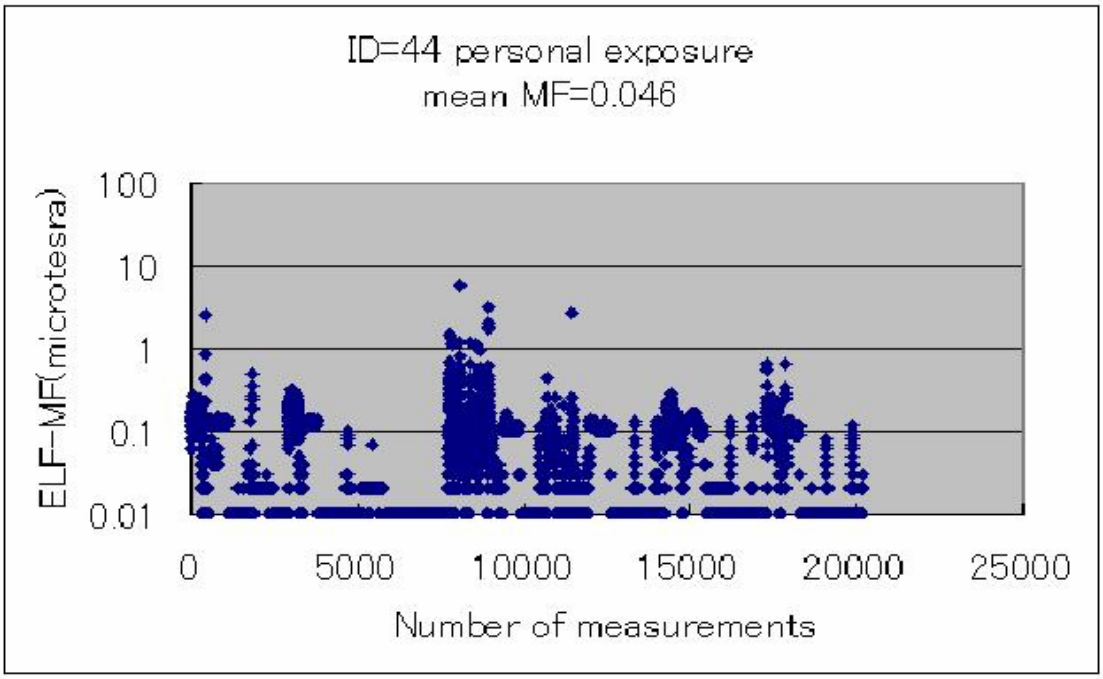
EC（－）


ID=37
mean MF in child bedroom=0.023
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

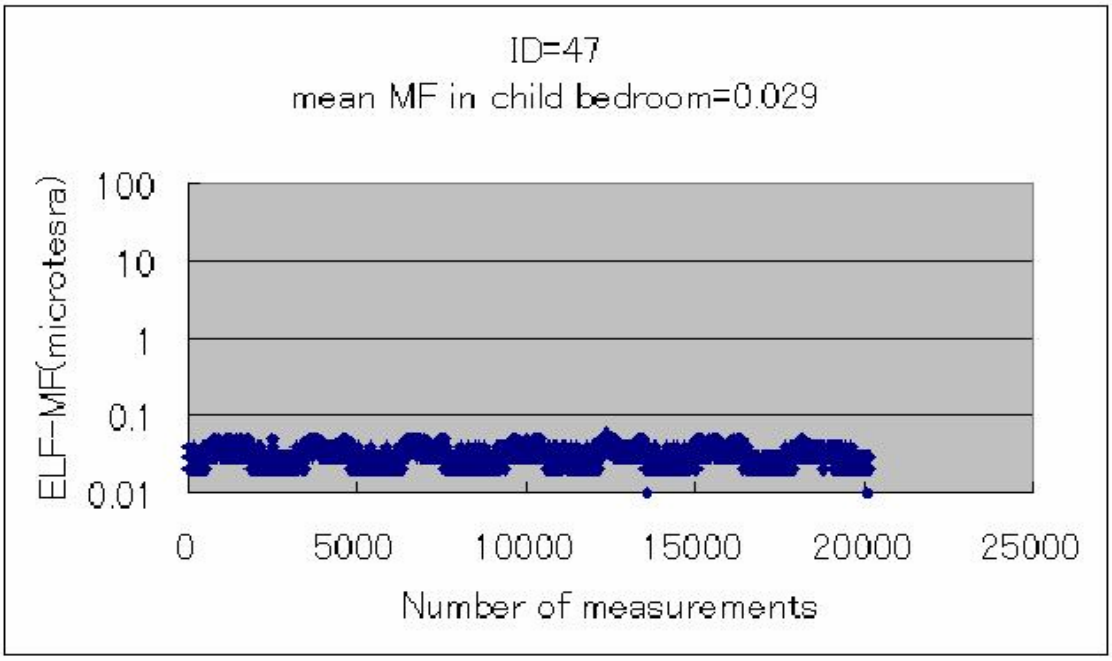

ID=37 personal exposure
mean MF=0.045
100
10
1
0.1
0.01
ELF-MF(microtesra)
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

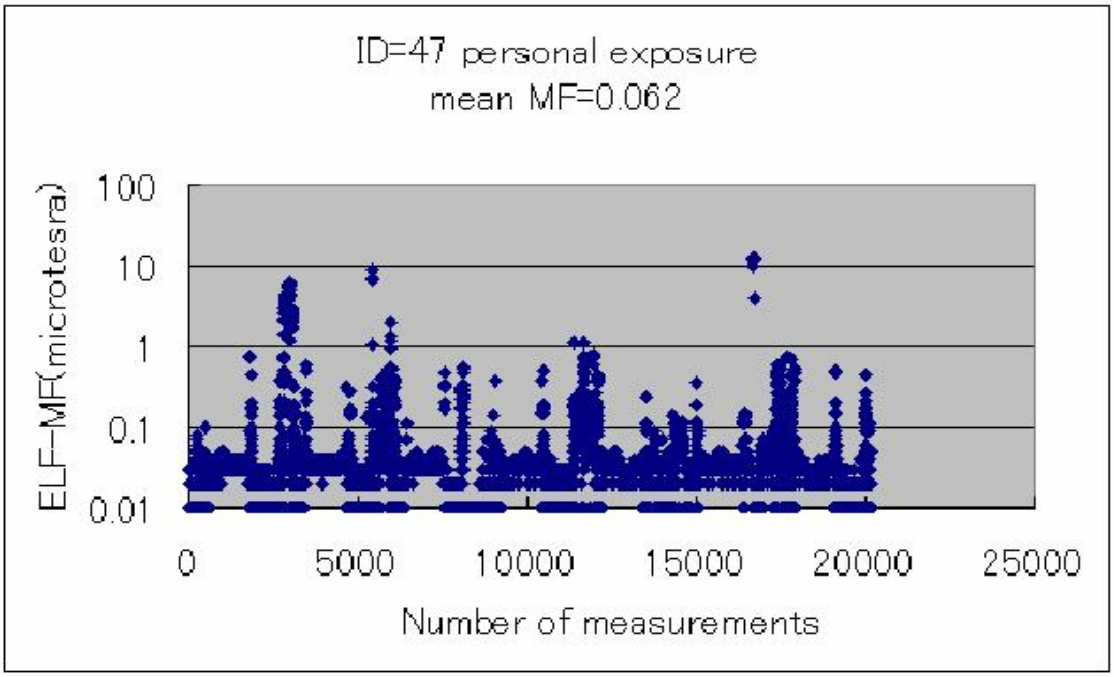
EC（＋）＋電気ストーブ


ID=44
mean MF in child bedroom=0.051
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

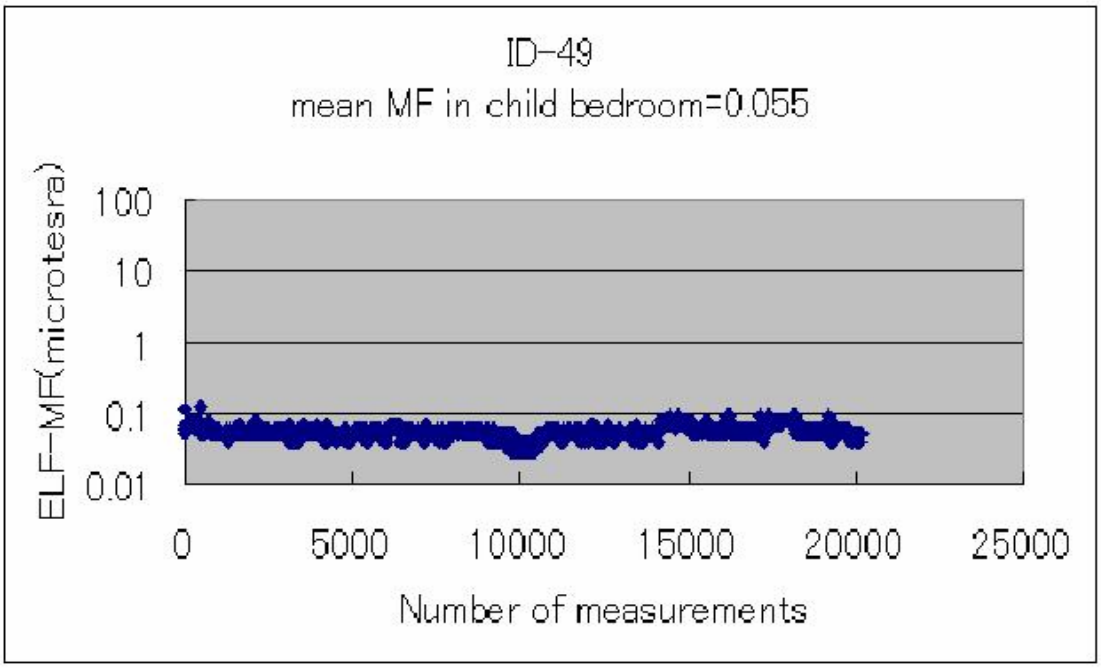

ID=44 personal exposure
mean MF=0.046
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

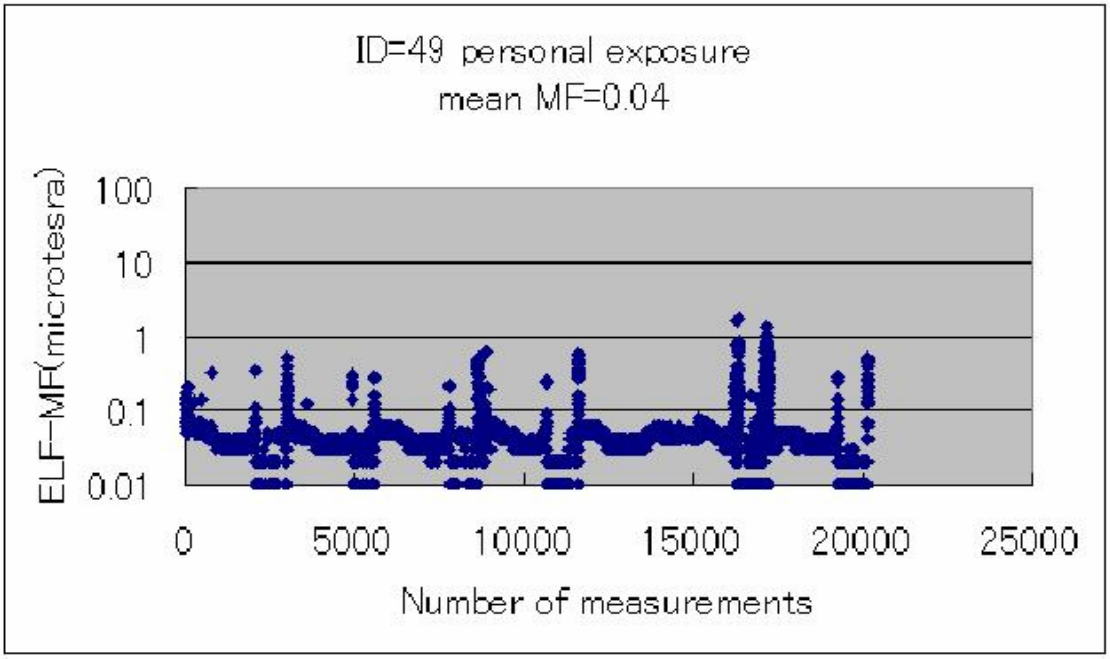
EC (+)


ID=47
mean MF in child bedroom=0.029
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

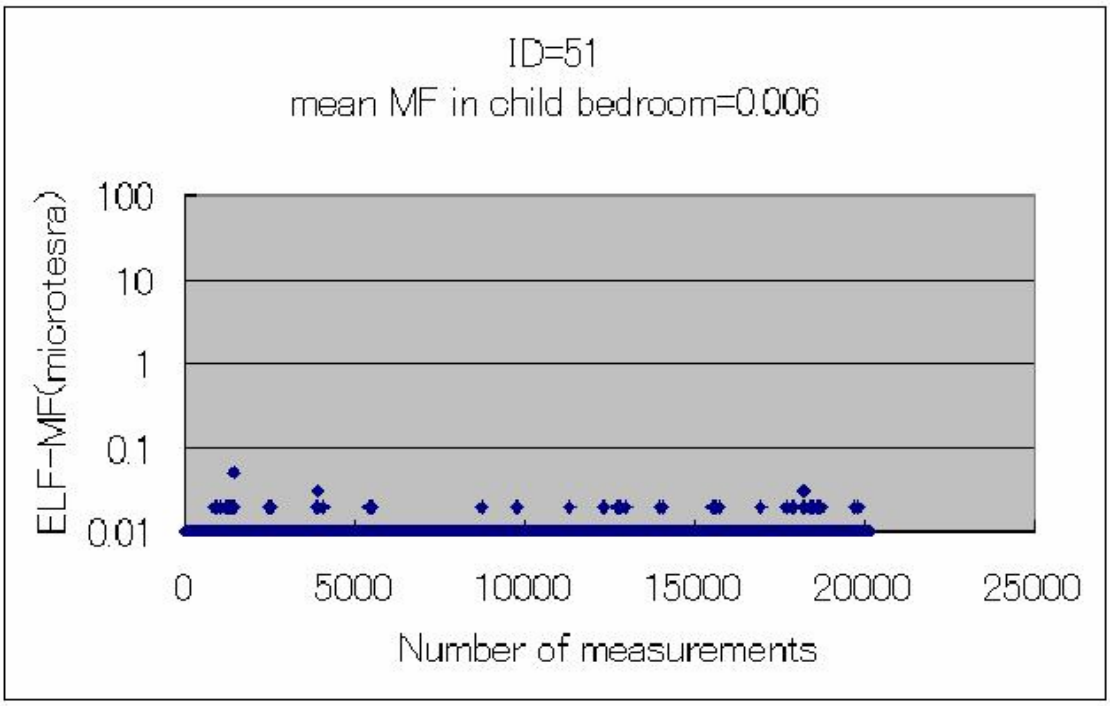

ID=47 personal exposure
mean MF=0.062
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

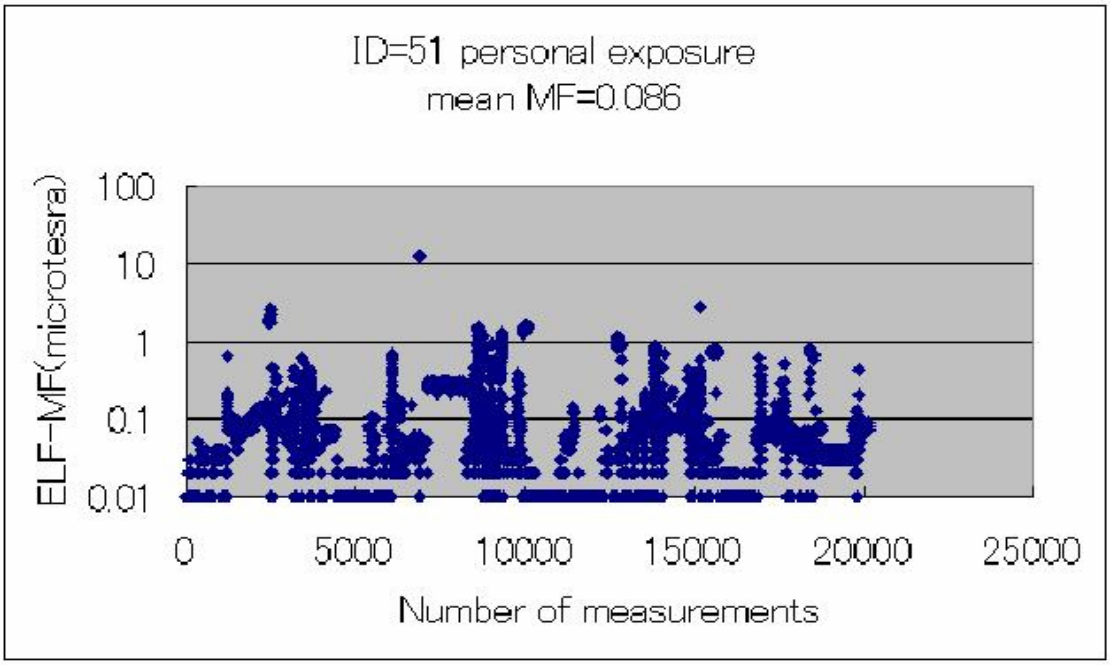
EC（－）


ID-49
mean MF in child bedroom=0.055
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

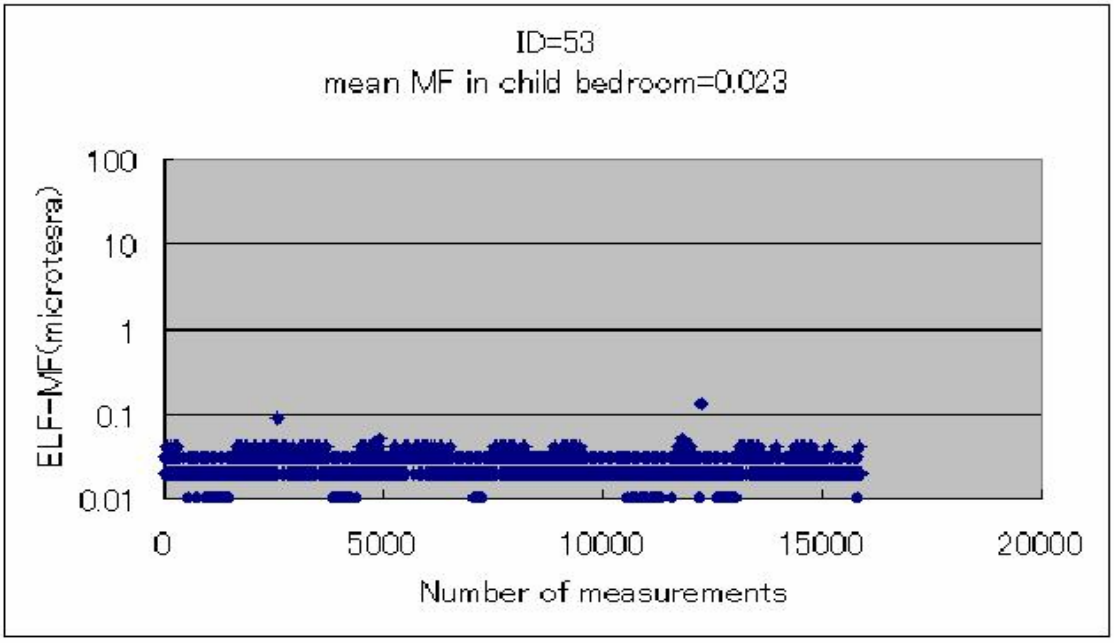

ID=49 personal exposure
mean MF=0.04
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

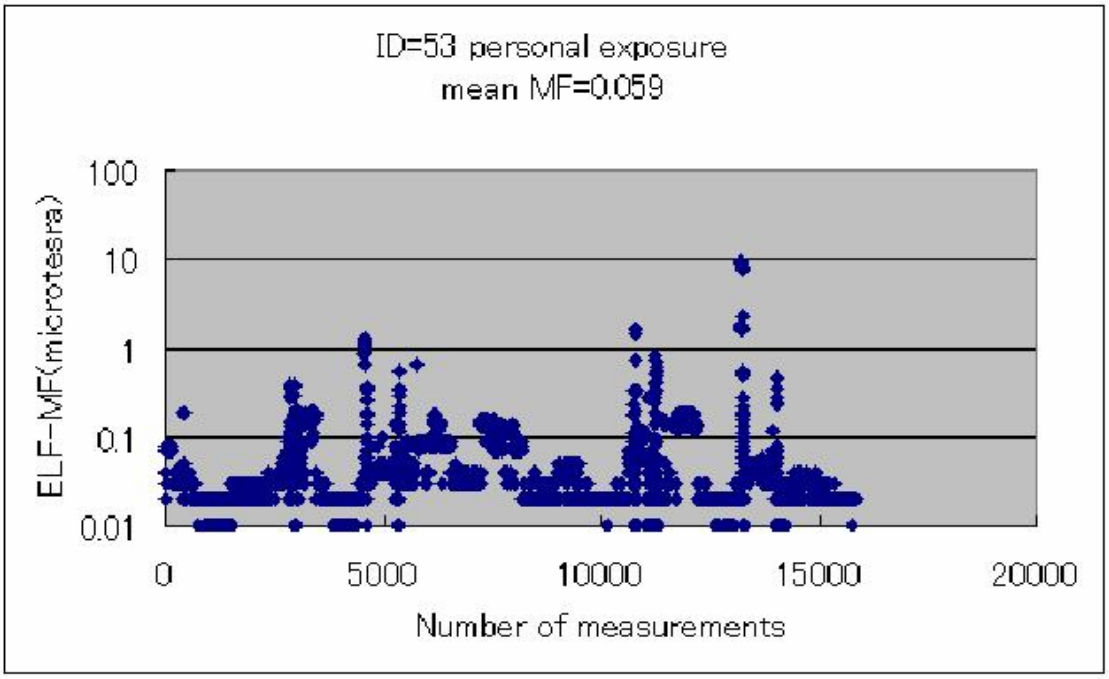
EC (+)


ID=51
mean MF in child bedroom=0.006
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

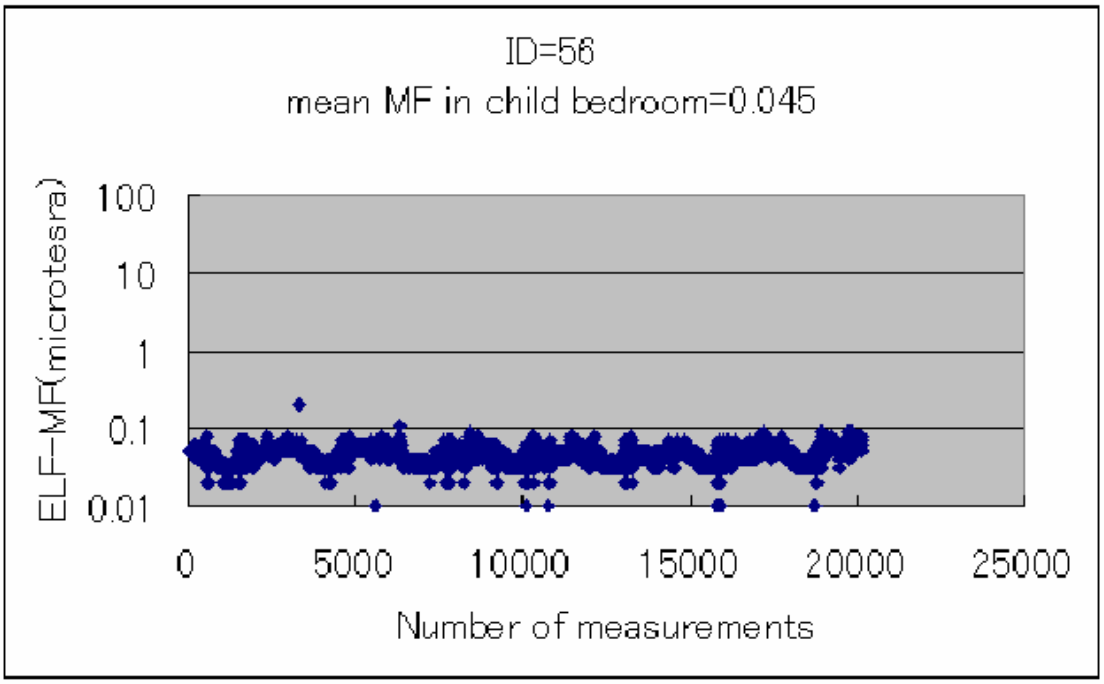

ID=51 personal exposure
mean MF=0.086
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

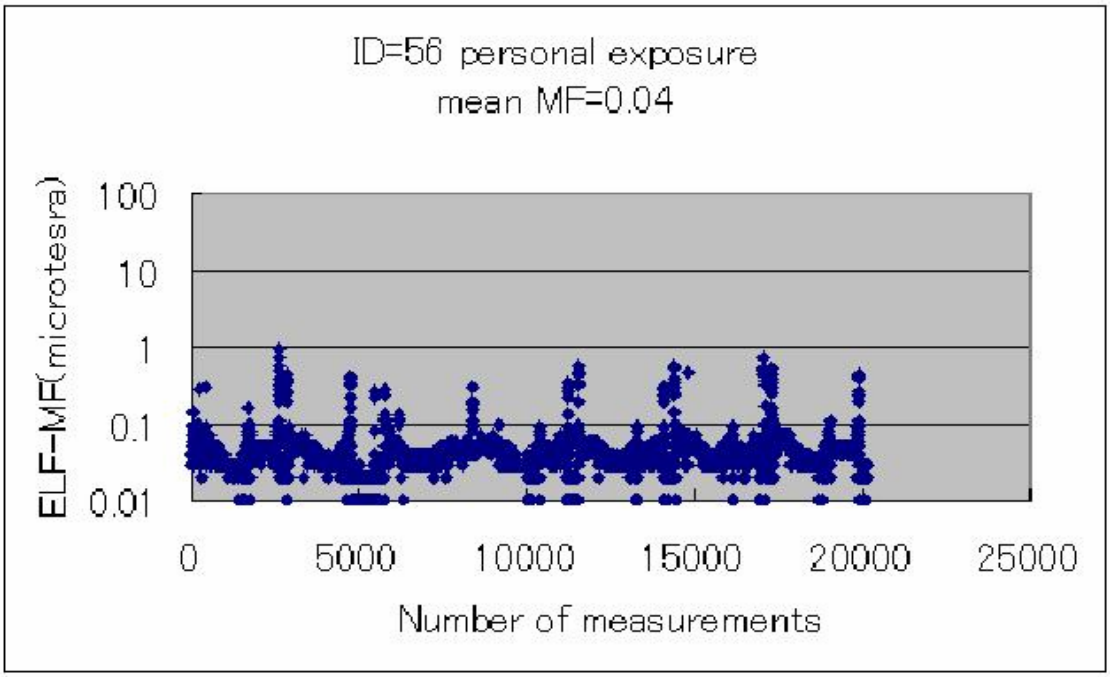
EC（+）＋電気ストーブ


ID=53
mean MF in child bedroom=0.023
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
Number of measurements

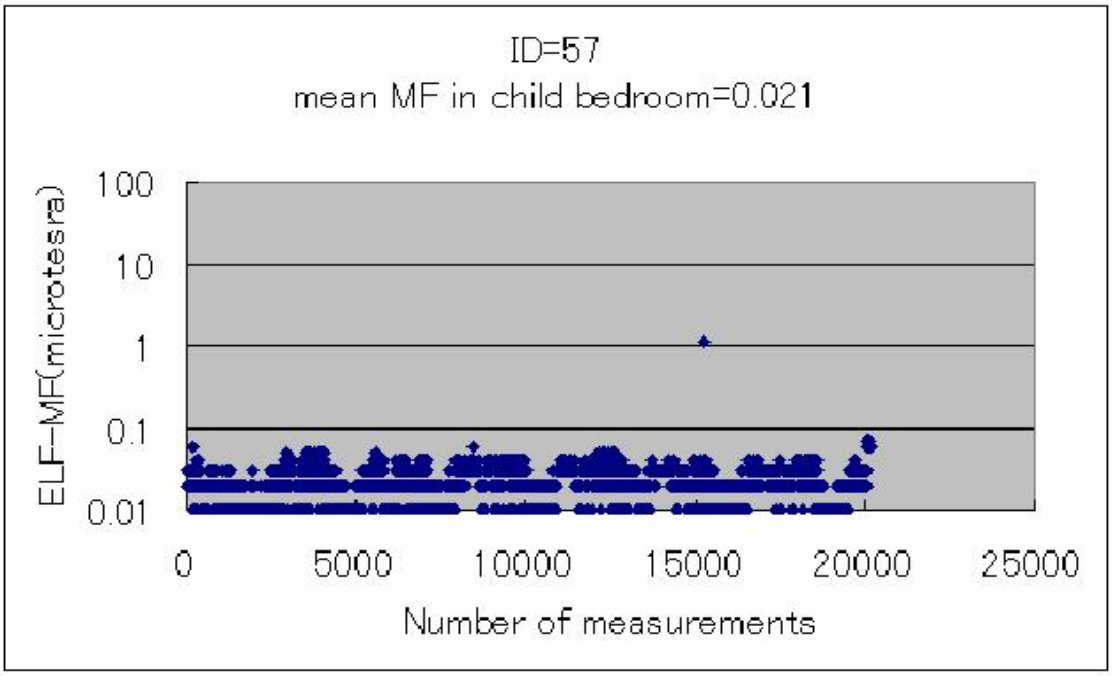

ID=53 personal exposure
mean MF=0.059
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
Number of measurements

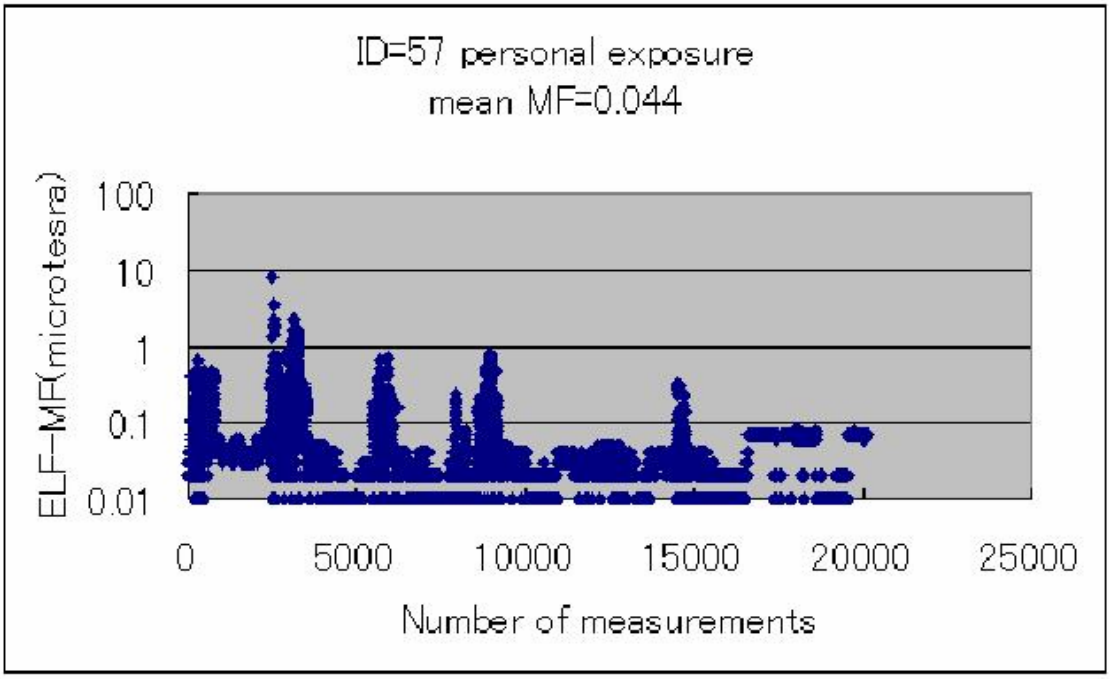
EC（+）


ID=56
mean MF in child bedroom=0.045
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

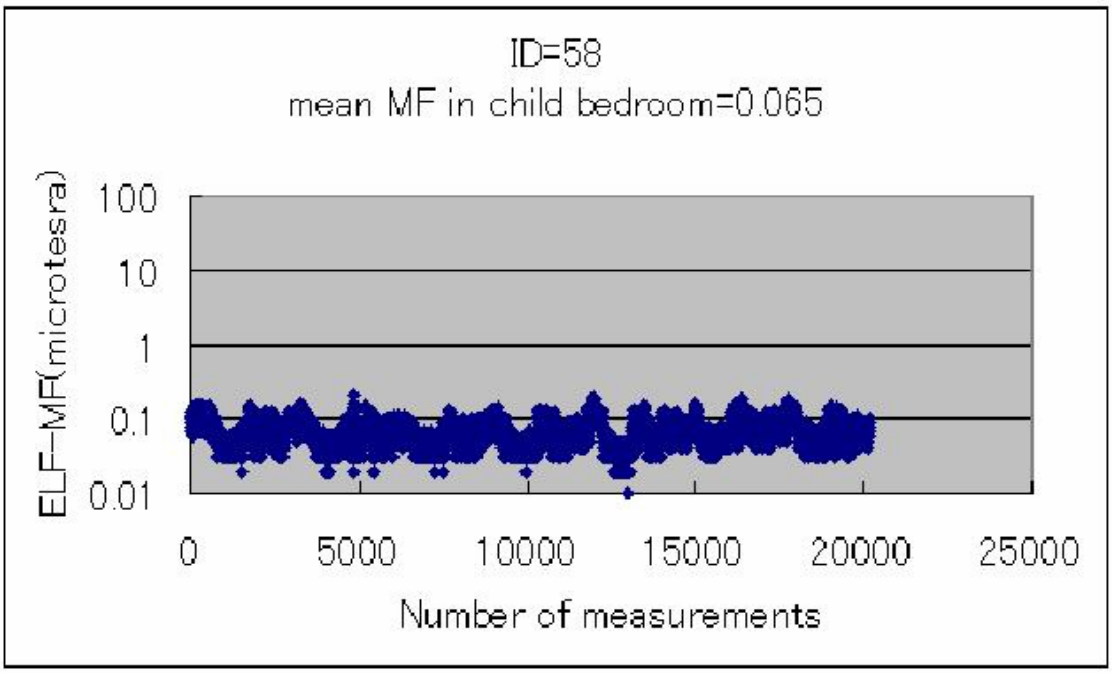

ID=56 personal exposure
mean MF=0.04
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

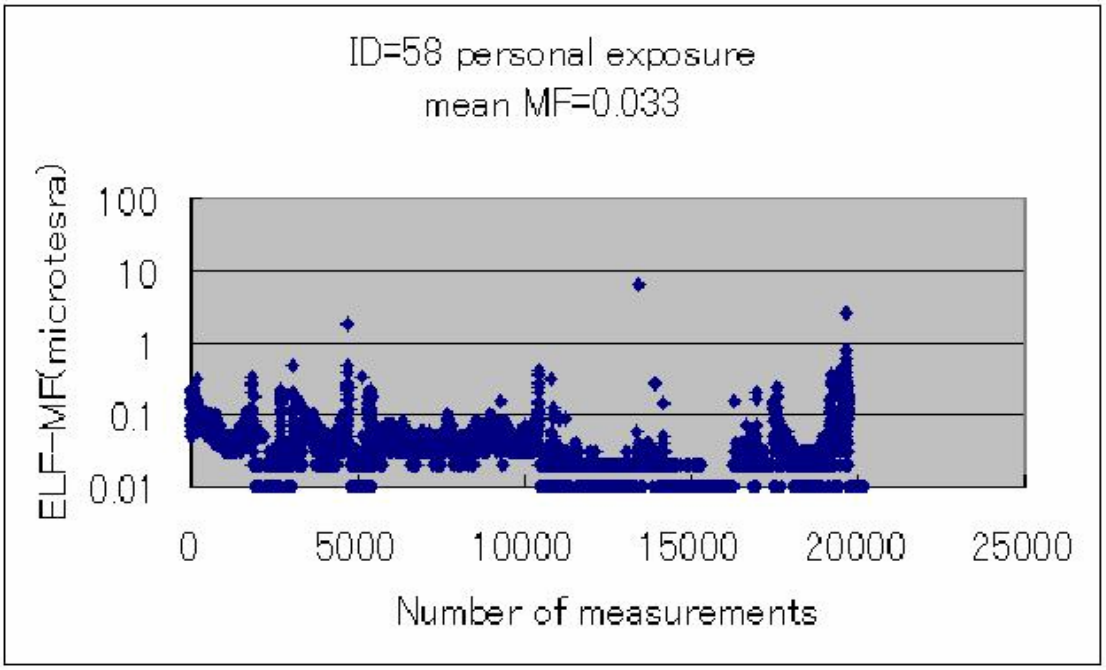
EC（－）


ID=57
mean MF in child bedroom=0.021
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

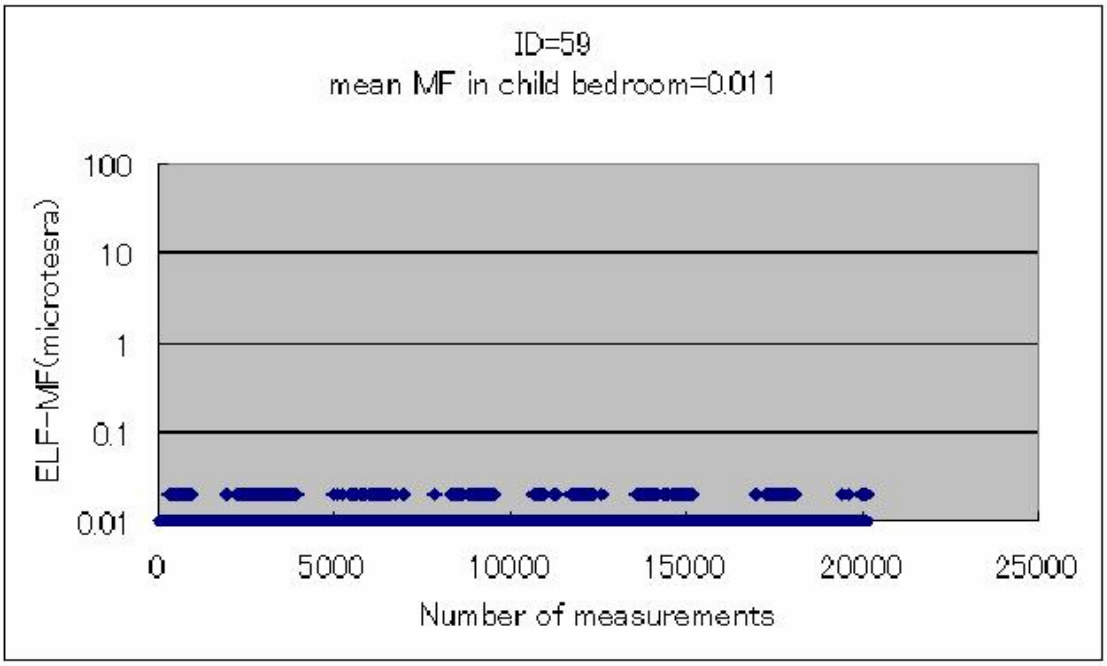

ID=57 personal exposure
mean MF=0.044
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

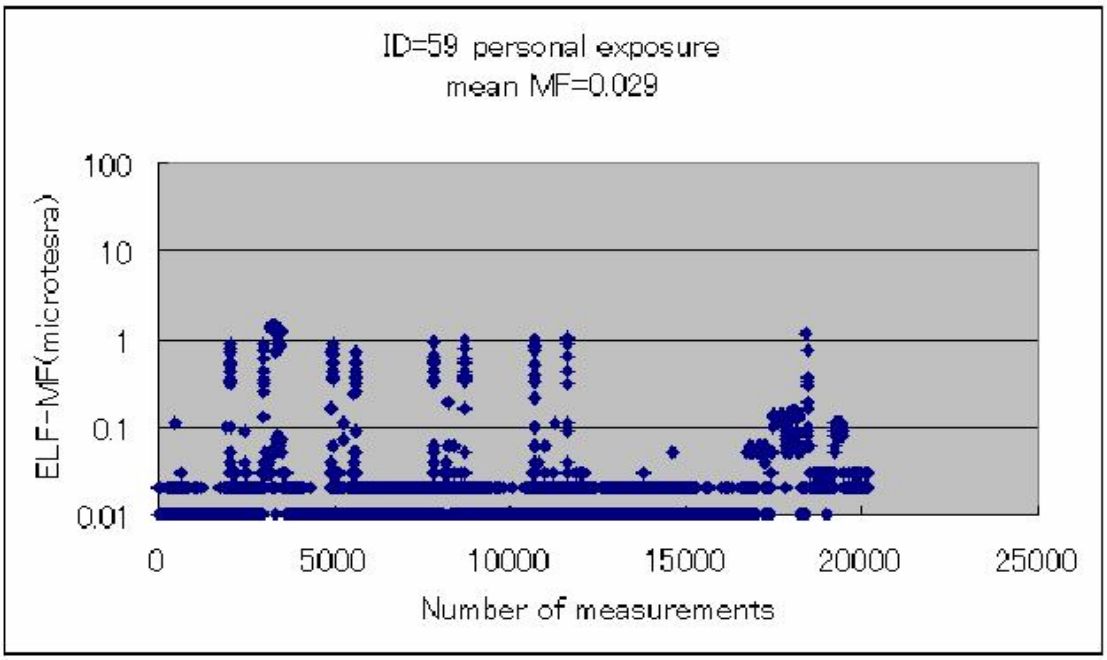
EC（－）


ID=58
mean MF in child bedroom=0.065
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

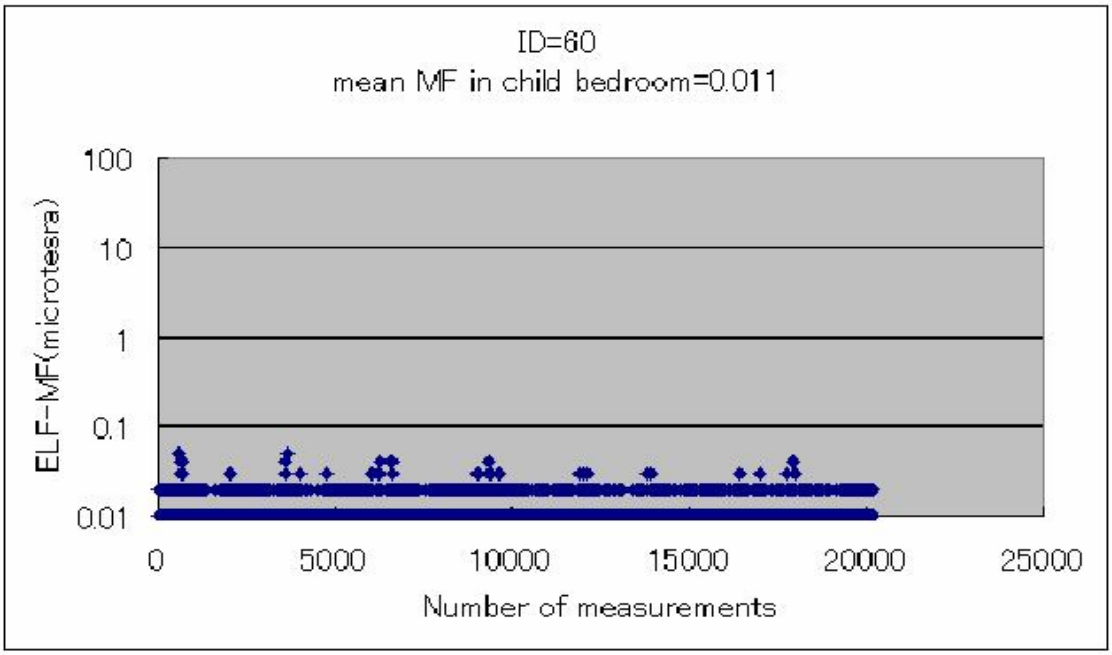

ID=58 personal exposure
mean MF=0.033
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

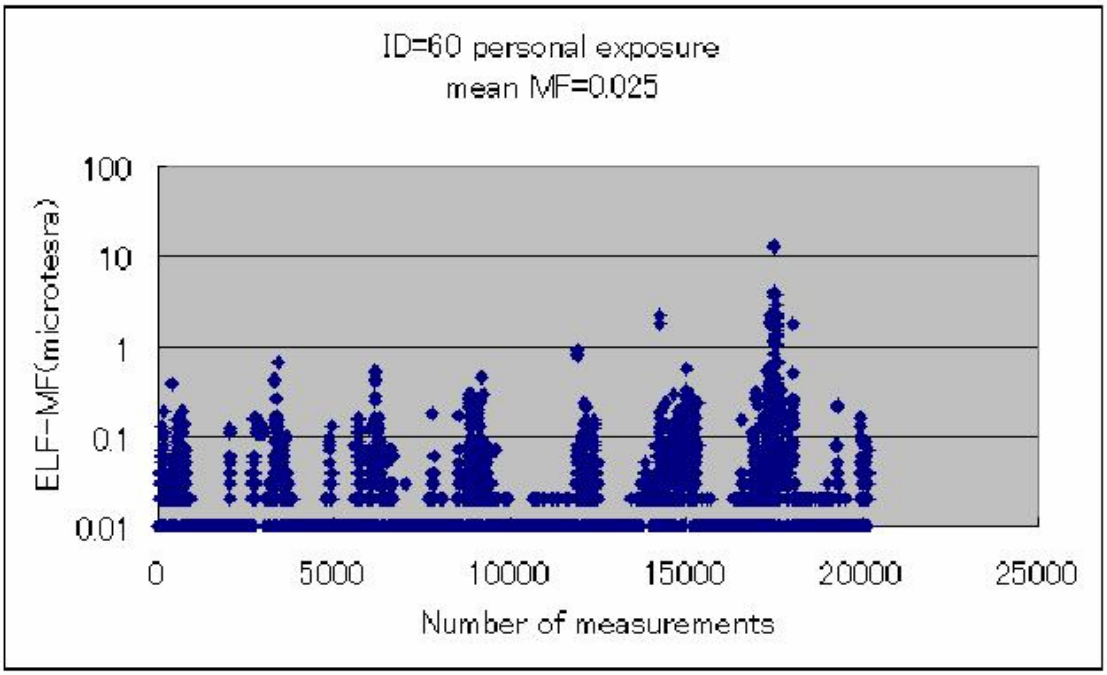
EC（－）＋電気こたつ



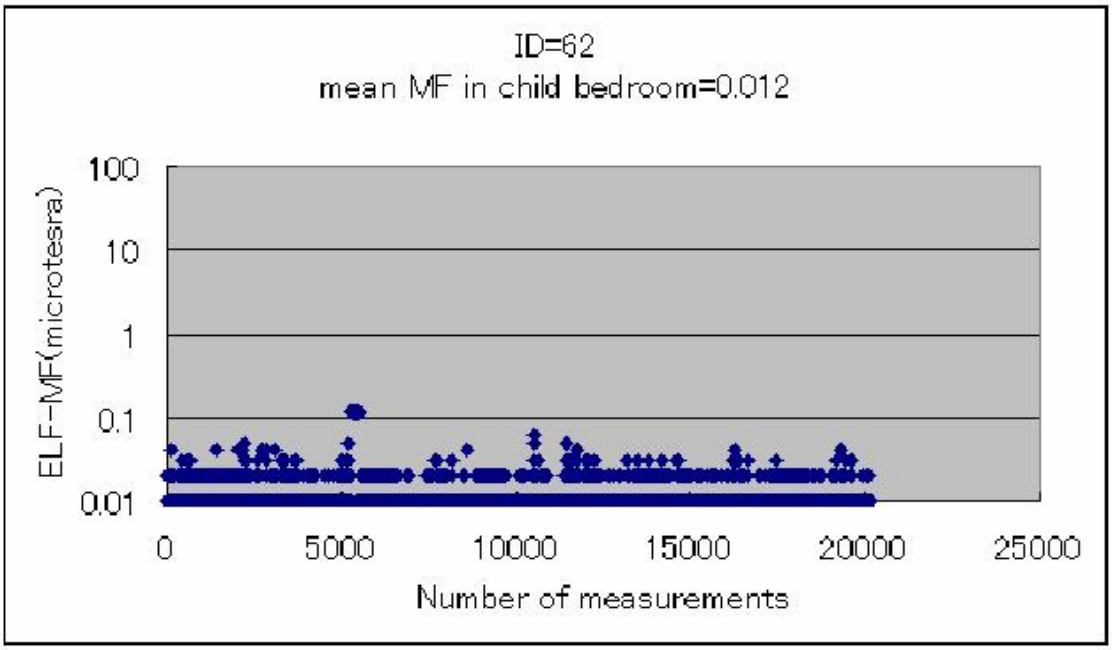


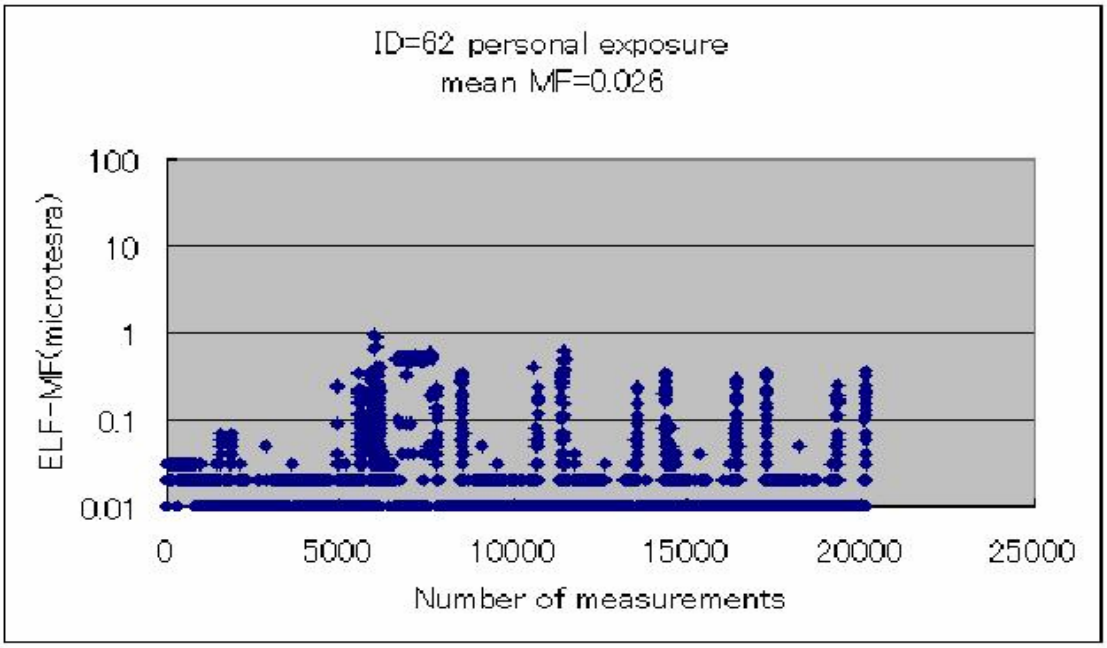
EC（＋）　＋加湿器＋電気ストーブ


ID=60
mean MF in child bedroom=0.011
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

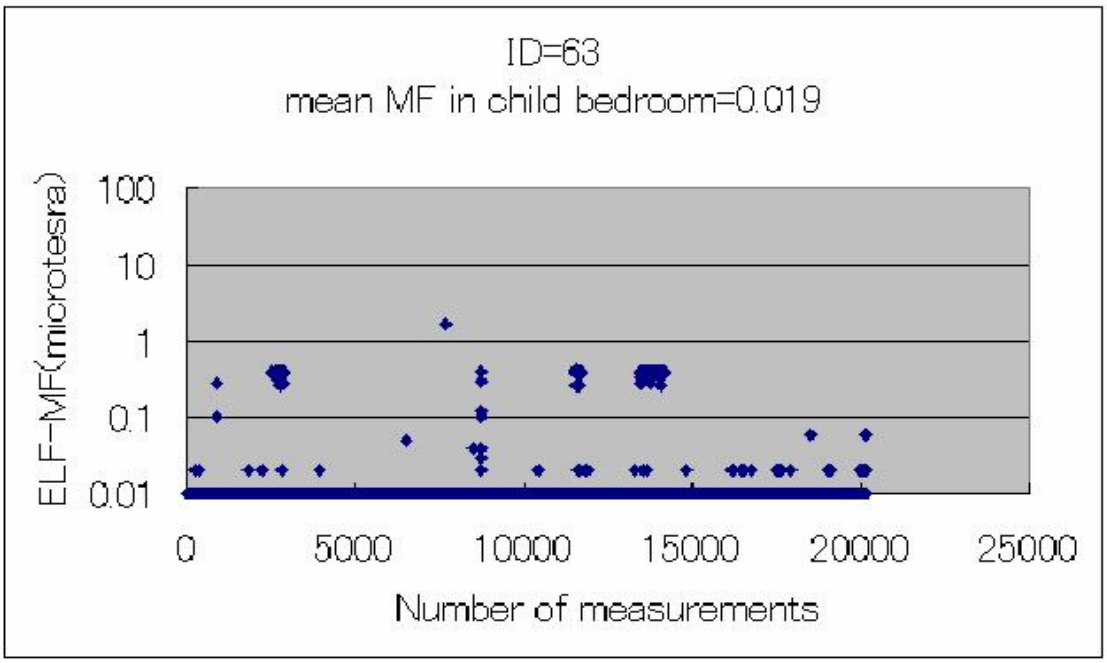

ID=60 personal exposure
mean MF=0.025
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

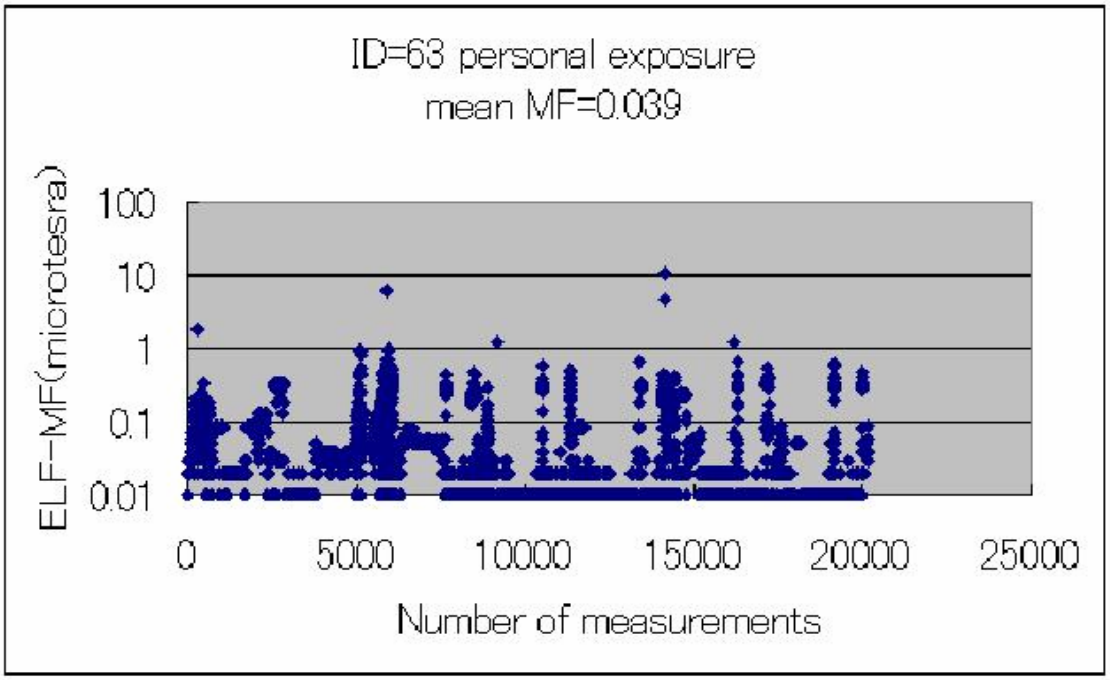
EC（+）


ID=62
mean MF in child bedroom=0.012
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

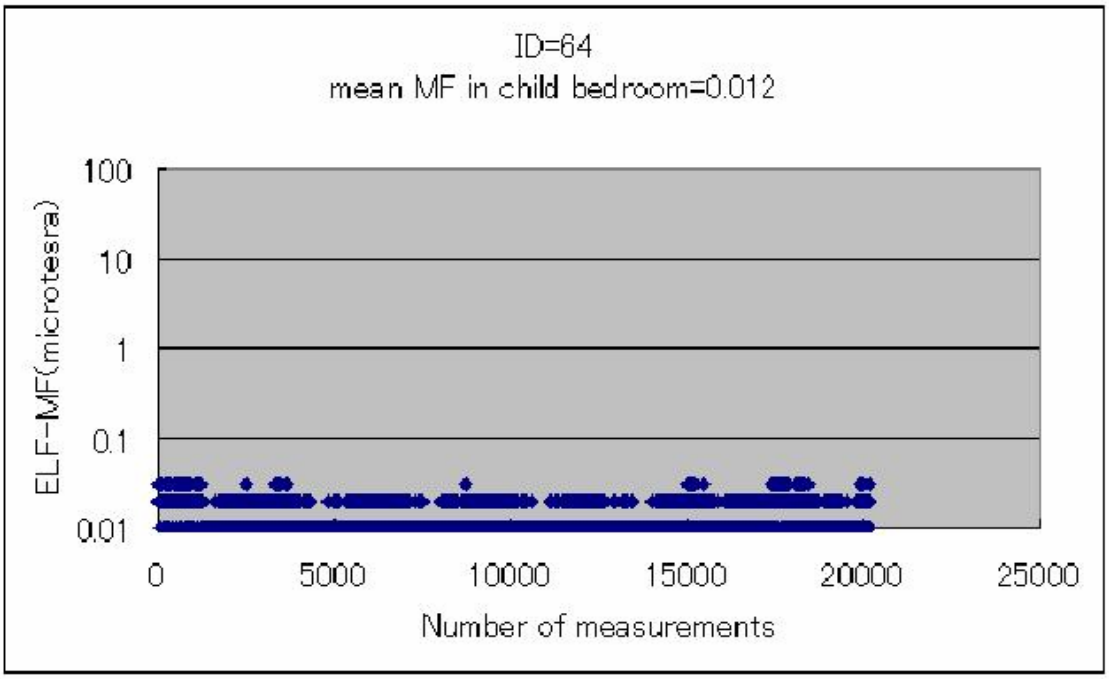

ID=62 personal exposure
mean MF=0.026
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

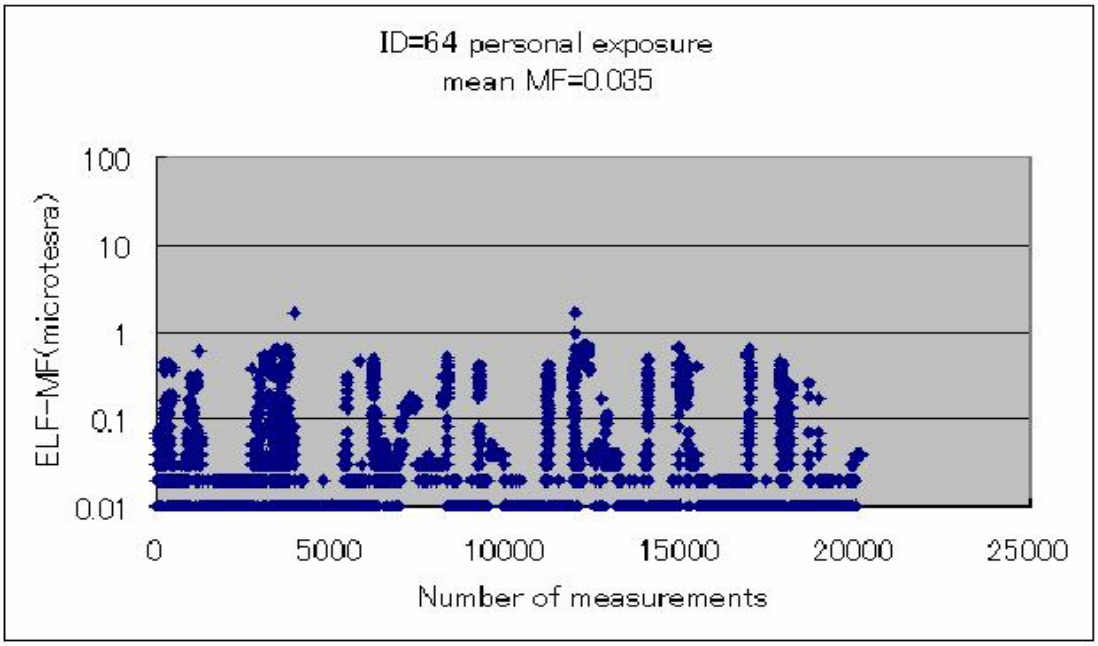
EC（＋）　＋床暖房


ID=63
mean MF in child bedroom=0.019
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

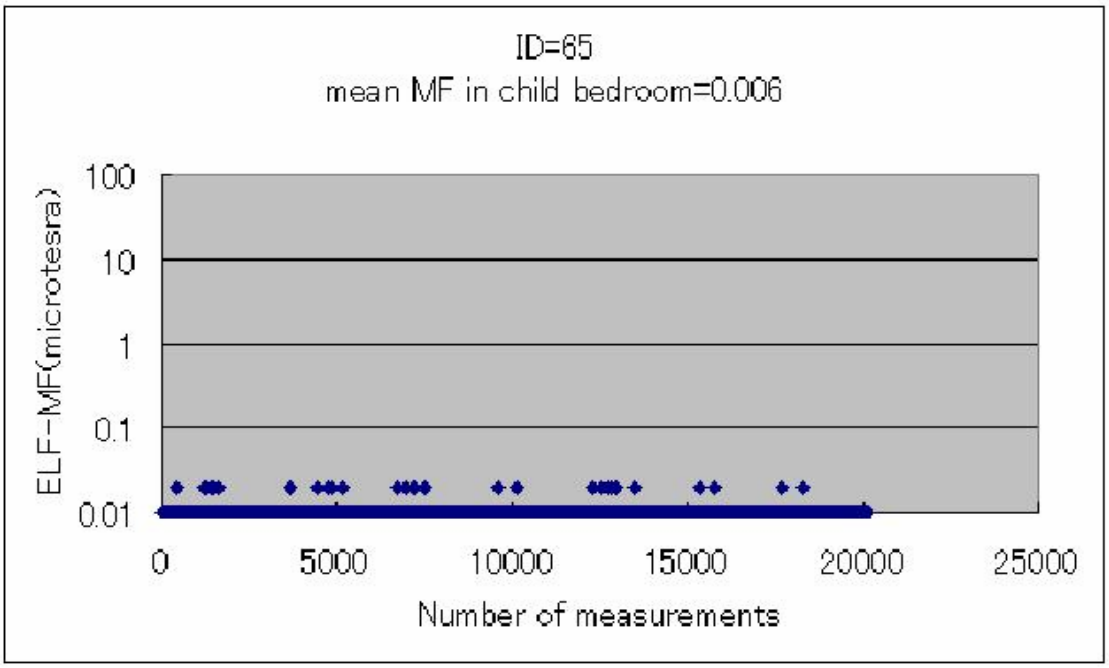

ID=63 personal exposure
mean MF=0.039
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

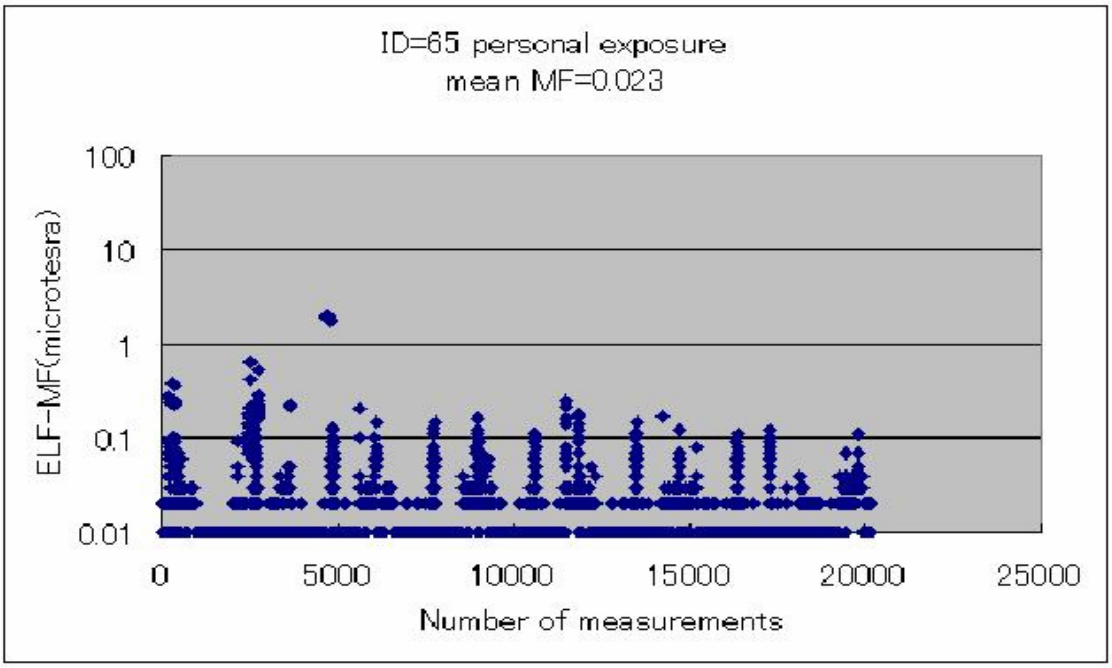
EC (+)


ID=64
mean MF in child bedroom=0.012
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

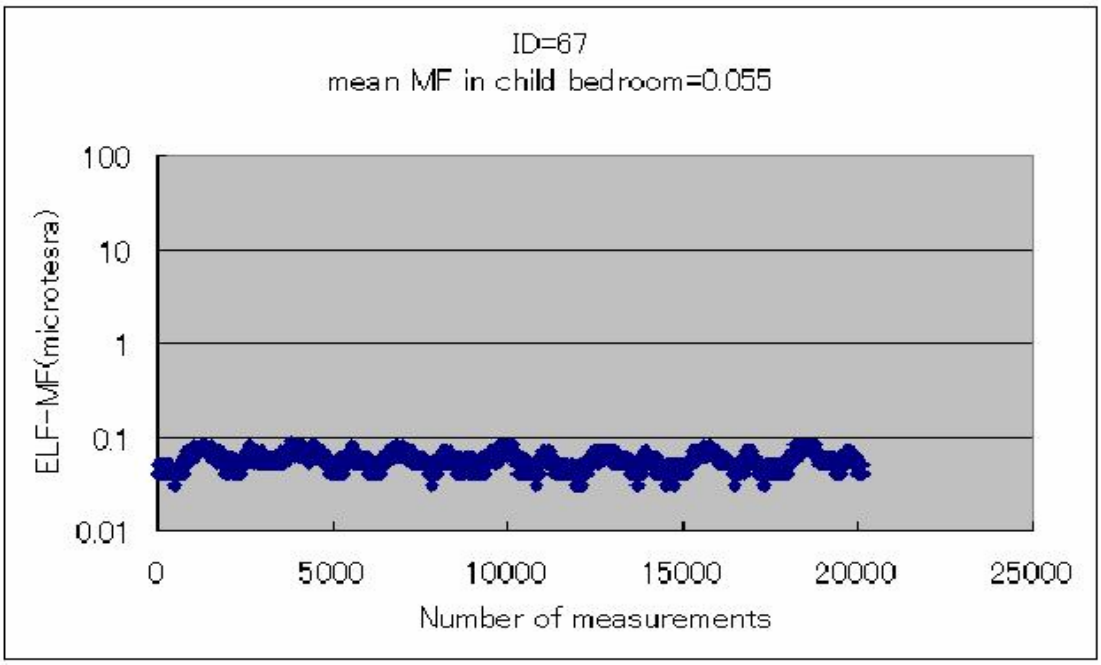

ID=64 personal exposure
mean MF=0.035
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

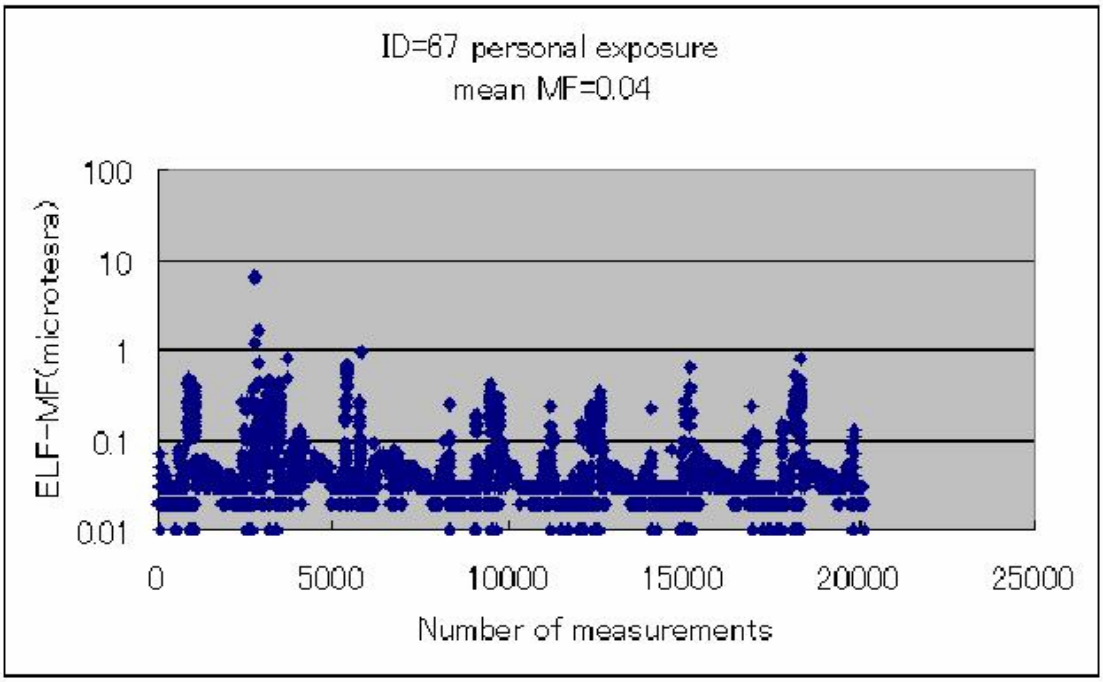
EC（－）　＋電気ストーブ


ID=65
mean MF in child bedroom=0.006
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=65 personal exposure
mean MF=0.023
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

EC（－）


ID=67
mean MF in child bedroom=0.055
100
10
1
0.1
0.01
ELF-MF(microtesra)
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements


ID=67 personal exposure
mean MF=0.04
ELF-MF(microtesra)
100
10
1
0.1
0.01
0
5000
10000
15000
20000
25000
Number of measurements

EC（−）

添付資料２

EMF基準の開発のための

フレームワーク

DRAFT

ＷＨＯ国際ＥＭＦプロジェクト

2003 年　10 月

1.　序論

2.　基準の調和

3.　研究の評価

　3.1. 生物学的影響と健康への悪影響

　3.2. 科学文献のレビュー

　3.3. 研究の評価基準

　3.4. 評価の進め方

4.　基準およびガイドラインの開発モデル

　4.1. 基準およびガイドラインの基礎

　4.2. 安全係数

　4.3. 基本制限と参考レベル

　4.4. 多段階の必要性はあるか

　4.5. コンプライアンスの決定手法

　4.6. 実施の費用と健康への直接的利益

5.　予防原則の観点

6.　基準の概念と専門用語　　(翻訳省略)

　6.1　物理・技術的用語

　6.2　医学・生物学的用語

　6.3　コンプライアンスおよび規制に関する用語

　6.4　その他の使用される用語

参考文献

付録A

　調査・研究のクライテリア

　人についての研究

　動物実験研究　(IN VIVO)

　試験管内実験研究　(IN VITRO)

付録B

　文献レビュー用フォーム例(各国規制機関向けにIEEEが提供する)

1.　序論

貿易のグローバル化、電子機器使用の急激な拡大により、電磁界(以下ＥＭＦ)への曝露制限ガイドラインまたは基準の間に差異があることに注目が集まってきた。その差異には大きいものもある。人々の防護には政治的側面があるため、各国がそれぞれの国民の要望に応じて、環境影響の防護レベルを選択することはあるだろう。

しかし世界各国のＥＭＦ基準の大きな差異は、このような事情からのみで生じたわけではなく、科学的データの解釈の違いや公衆衛生基準の基本理念の違いから生じたものもある。そのような違いは、部分的には、異なる分野の専門家間のコミュニケーション不足を反映したものかも知れない。その国の制限値と国際基準との間に大きな乖離がある場合、国民の不安は増す可能性がある。この不安は新しい技術（これはしばしばＥＭＦ曝露の増大を伴うものである）が導入されることによりさらに悪化する。

1998年11月、ＷＨＯ国際ＥＭＦプロジェクトは、世界のＥＭＦ基準の調和をとることを目的とする活動を開始した。本プロジェクトには50以上の国々と8つの国際組織が関与し、各国がＥＭＦ基準調和のための枠組みを作り、そして全ての人々に同一あるいは同等の健康防護レベルを提供するような曝露制限値やコントロール対策の開発を推進することに一体となって取り組む機会を提供している。

これは、ＷＴＯ（世界貿易機構）がＧＡＴＴ（関税および貿易に関する一般協定）加盟国に対して、国際基準との調和を要請したことと歩調を合わせたものである。

多くの国家機関は職場および居住環境のＥＭＦ曝露に対する制限値を定めたガイドラインを公式に作成している。現在、各国の規定に広く採用されている安全クライテリア一式は、国際非電離放射線防護委員会のガイドラインである（ＩＣＮＩＲＰ、１９９８）。公衆のＥＭＦ曝露は種々の自主的及び法的制限値により規制されている。現在のＥＭＦ曝露に対するガイドラインは、安全率を組み込んだ制限値を用いて、短期的及び長期的曝露から生じると確認された悪影響を回避するように設計されている。国際的ガイドラインは、低周波での神経及び心臓への急性影響と高周波での加熱作用を予防することに的を絞っている。

世界各国で採用されているＥＭＦ基準の概要は、ＷＨＯ国際ＥＭＦプロジェクトのウェブサイトで見ることができる。

2.　基準の調和

国際標準化機構（ＩＳＯ）は、調和化された基準群とは、同一の課題に関する、異なる標準化組織によって承認された複数の基準であり、これらにより製品、手続き、サービスの相互交換、またはこれらの基準に従って提供される検証結果や情報の相互理解を確立するもの、と定義している。調和化された

基準群の目的は、基準の開発、管理のみならず共存可能な規制や基準の開発に関する国際的な方法論を一つにまとめることである。技術基準と健康基準との区別を明記することは重要である。技術基準は機器の放射ＥＭＦを制限する製品仕様であり、一方、曝露基準は人々（公衆、職業従事者）へのＥＭＦ曝露を制限するものであり、科学に基づいている。

ＥＭＦ基準調和化プロジェクトの目的は、ＥＭＦへの曝露から公衆や職業従事者を防護するガイドラインを開発するための枠組みを定義することである。このプロジェクトでは、ＥＭＦは０から３００ＧＨｚの周波数範囲の電磁界とする。最近の技術は様々な周波数スペクトラムを利用しているため、ＥＭＦ曝露に関して基準の調和をとることが新しく要望されている。基準調和化の利点のうち、重要なものは以下のとおりである。

- 政府と科学者が健康リスクに関して合意しているという、公衆の信頼度上昇
- 情報公開されたデータベースおよびＥＭＦのより深い理解
- 統一のとれた健康防護

作業の枠組みの主要点は以下のようである。

- 基準開発のための研究結果評価に用いるクライテリア
- 制限値の基盤となる科学的合理性の要求項目
- 基準開発のモデル
- コンプライアンスの決定方法
- 科学的証拠の不一致、欠落をいかに評価するか
- 特定の周波数範囲や曝露条件での研究データがない場合、いかにして結果をその他の周波数や強度に外挿できるか
- もし必要であれば、予防的アプローチをいかに検討、考慮すべきか
- 基準の概念及び専門用語集

以上の枠組みは、基準の根拠の見直しや新しい基準の開発を行っている各国への助言機関・規制機関向けを意図している。この文書には以下の点は含まれない。

- 測定の原則や実技に関するガイダンス
- 機器設計を含む電磁干渉（ＥＭＣ）問題
- 医学的治療、診断を受けている患者の曝露
- 特殊な機器に関する放射制限の設定

3. 研究評価

ガイドラインは、健康影響に関する科学的データに基づいている。それには、専門家査読がある科学文献に掲載された複数の研究、学問から得られた一貫性のある情報が必要となる(Kheifets et. al., 2003)。よくデザインされ実施された研究は、原則として、結果の如何にかかわりなく掲載されるはずである。なぜなら、科学的証拠の評価に必要なデータベースを作るためには、否定的結果(影響が観測されなかった)は肯定的結果(影響が観測された)と同様に有用性を持つからである。しかし実際には、そうでないことがしばしばあるため、パブリケーション・バイアスの可能性を考慮しなければならない。[注：これは著者らによるだけでなく、学術論文誌の編集者によっても決定される。いくつかの学術論文誌は‘影響なし’論文は掲載しない。否定的結果は掲載する価値がないと彼らは考えている。この類のパブリケーション・バイアスにより不均衡なデータベースが出来上がる。] 研究結果の評価においては、研究のデザインと検出力が、与えられた曝露条件下で影響を検出するに充分かどうかを検証することが重要である。

3.1 生物学的影響と健康への悪影響

生物学的影響とは、EMF曝露に関連して起こる生理学的な反応である。依存関係のない他の研究所で研究結果が再現されるか、他の関連研究によって補強されることによって、生物学的影響、健康影響の存在は確立される。以下の要件を満すことにより、その存在はさらに確実なものになる。

- 既に認められている科学原則と一致する
- 影響を引き起こすメカニズムが理解されている
- 量－反応関係が決定可能である

EMF曝露は様々な生物学的影響を引き起こし、それらは多様な結果をヒトにもたらす。多くの生物学的影響は、ヒトへの良い影響も悪い影響ももたらさない。しかし、いくつかの生物学的影響は病的状態をもたらし、他の生物学影響は個人に対して有益な影響をもたらす。EMF曝露による不快感はそれ自体が病的ではない。しかし、もし実証されるならばであるが、個人の身体的、精神的健康に影響する可能性があり、結果として健康への悪影響となると考えられる。したがって、健康影響とは、健康や安寧を損ねるような生物学的影響であると定義される。WHO憲章に拠れば、健康とは、完全な身体的、精神的及び社会的安寧の状態であり、単に疾病又は病弱でないということではない。

3.2 科学文献のレビュー

専門家査読を経た科学文献を、包括的、批判的にレビューする必要がある。レビューは質の高い専門家が行い、学界（元の科学的データベースを検証した）の承認を得る必要がある。これら専門家たちは学際的で、例えば、疫学、生物学、毒物学、物理学、工学などを含む必要がある。

専門家査読を経た科学研究のみレビューの対象となる。専門家査読といっても学術誌により違いが大きいが、一般的には専門家査読作業は高い品質を保っている。専門家査読により研究結果に信頼性が付与されてはいるが、個々の研究のデザイン、遂行、分析方法を評価し、他の研究結果と比較するために、さら

にレビューすることが必要である。学術誌には掲載されていない専門家査読を経た論文は対象となるが、学会抄録は一般的には査読なしのため価値が低く、また充分な情報を含んでいない。全ての結果が適正に分析され、学術誌に公表されることによりはじめて研究の最終的結論と考えられる。

専門家パネルの重要な仕事は、基準の設定に対する論文の関連性を査定することである。多くの論文は優れた研究である。しかし、基準設定に実際的価値を持つとは限らない。すなわち確立された健康影響の限界値を充分上回った電磁界レベルを用いて研究している。

3.3 研究評価のクライテリア

一般的に、研究論文では目的と仮説を明確に記述し、曝露方法、実験デザインや統計分析、および生物学的実験システムや実験手法について詳述する。研究の有用性をさらに高めるためには、曝露条件を記述し、電磁界特性、偏波、放射源、放射特性、曝露時間、比吸収率（SAR）、組織内誘導電流および電界、温度（RF不干渉測定プローブを用いた）などを適正に記述するべきである。ヒト、動物、試験管内研究についての一連のクライテリアを付録Aに示すが、あくまで指針としてのものである。これらのクライテリアを全て満たさない研究からも有用なデータが得られる可能性があることに留意されたい。

3.4 評価プロセス

第一にすべきは、研究から得られた証拠により曝露影響、すなわちEMF曝露により引き起こされた健康への悪影響を同定することができるかどうかの決定である。 この評価プロセスの結果、他の文献との比較評価において不確実性、不一致が出てくることがある。したがって、どのような評価も少なくとも部分的にはある種の判断に基づくことが分かる。この判断過程を透明にするために、様々な体系、クライテリアがあるが、なかでもBradford Hillのクライテリア（Hill, 1965)とIARCの発ガン性アセスメント表（IARC 1987)には言及しなければならない。また最近、RepacholiとCardisが詳しく検討している(1997)。

リスクアセスメントの次の段階(一般人口集団あるいは特定集団におけるリスクの現実的評価)では、選別された研究が付加的データ（主に量的データ）を提供する。そのようなデータには以下のものがある。

- 生物学的有効量の明確化とその組織や器官による違い
- 曝露－影響関係、存在するのであればその閾値の同定
- 曝露分布およびその内での高度曝露人口集団の同定
- 人口集団内での感受性の違い

この情報の全てあるいは一部が曝露ガイドライン開発に必要である。利用可能な科学文献を査定するためには、IEEEレビューフォーム（付録B）のようなクライテリアの利用も役立つ。

4. 基準およびガイドラインの開発モデル

曝露限界値はEMF曝露による健康影響を防護するためのものである。ガイドラインを開発するには、防護すべき影響が特定されていなければならない。EMF曝露による短期的および長期的影響は、些細なことから生命にかかわることまでの広い範囲にわたっているため、曝露ガイドラインの決定には均衡のとれた判断が求められる。

4.1 基準またはガイドラインの基礎

人々の防護を目的とした基準やガイドラインのためには、理想的にはデータはヒトでの研究から得られることが望ましい。ある種の短期的生物学的影響と曝露との関係は、ヒトを用いた実験研究により評価できるが、人々への長期的影響に関するデータは主に疫学的研究から得られる。しかし疫学研究の結果は、確かに直接的関連性ではあるものの、実験研究による生物学的妥当性または補強データが得られない限り、因果関係の充分な証拠にはなりえない。特に、複数の研究の間に結果の不一致がある場合、示唆されたリスクは小さく、バイアスの影響を受けやすい。

動物実験は、関連する全ての体内反応を含む完全な生体を使っているので、生物学的影響とそのメカニズムの解析に価値が高い。試験管内実験研究もまた、因果関係が存在するか否か明確にするために有用である。試験管内研究は分子レベルでの生物物理学的なメカニズム、細胞内あるいは細胞間の相互作用などについて詳細な情報をもたらす可能性がある。

動物実験および試験管内実験の結果をヒトに外挿するためには慎重に評価する必要がある。標的レベルにおけるメカニズムがモデルとヒトで同じであるとの前提に立ち、生物学的有効量を用いて、モデルで見いだされた量反応関係をヒトに適用するための調整が行われる。一般的には、動物実験の結果とヒトの健康との関連性を評価するためには、ヒトでのデータによる支持が重要である。

4.2 安全係数

データの不確実性は安全係数に含めて表現される。したがって、曝露限界値は観察された影響の閾値より下に設定される。量反応関係や閾値レベルに関する不確実性は、動物データをヒトへの影響に外挿したためや、集団、個人による感受性の違い、量反応関数の統計的不確実性、異なる周波数の曝露や他の環境ストレスとの複合影響の可能性などに起因する。

4.3　基本制限と参考レベル

EMF曝露制限値は、基本制限という用語で表され、よく知られた生物物理学的相互作用による生体への悪影響のメカニズムに密接に合致した物理量で表現される。基本制限を超えなければこの健康影響からの防

護は保証される。EMF曝露がヒトの健康、安寧に与える様々な悪影響の同定と定量化はどう見ても困難で、その判断には幅広い経験と専門性が要求される。急性影響のいくつかは妥当な精度で定量化されたので、ガイドラインの導出において、観察された閾値レベル以下への本質的な割引(安全係数)は必要ない。曝露と影響との関係の精度や確実性が低いほど、割引を大きくするのは当然である。精確な安全係数の決定のための厳密な根拠はない。割引の大きさは判断の範疇にある。

基本制限は測定が実施しにくい物理量で規定されるため、測定が実施しやすい物理量を使った参考レベルが、基本制限を満たすことを示す代替的な手段として提供されている。ICNIRPガイドラインでは、参考レベルは最悪の曝露条件下での基本制限に対応しているので、多くの場合、参考レベルの使用は安全性がさらに追加されたことになることに留意すべきである。参考レベルを超えることは、必ずしも基本制限を超えることを意味しない。この場合には基本制限を満たすことを実証することにより、基準またはガイドラインを満たしていることが証明される。

4.4　多段階の必要性はあるか?

人口集団内の様々な集団は、特定のEMF曝露に対する耐性能力がそれぞれ異なっている。子供、高齢者、何らかの慢性病の人々はその他の人々に比べ、ある様式またはいくつかの様式のEMF曝露に対して低い耐性をもつ可能性がある。したがって、各集団に対応した異なるガイドラインレベルの開発は、有用であるし必要である。ガイドライン制限値決定において、特定の集団に対して他より大きな安全係数を用いることにより、これは実現される。

補完的な方法は、一般公衆と既知の条件下で曝露を受ける成人職業集団を区別することである。職場は、曝露をより良くコントロールし、労働者に教育と訓練を与えることができるとの認識に基づいて、この区別がなされている。ICNIRPガイドラインでは、職業的曝露と公衆の曝露を一般的用語として定義している。ガイドラインを具体的な状況に適用する場合には、その国の該当する当局が、その国の法律や政策にしたがって、職業または公衆のガイドラインレベルを適用するかどうかを決定すべきである。

多くの様式のEMFが医療応用されているが、その曝露レベルは通常の曝露レベルよりはるかに大きいことが多い。医学的治療または診断の一部としてのEMF曝露は、リスクー利益について別の考慮がなされるため、曝露ガイドラインの範囲外にあると通常は考えられている。

4.5 コンプライアンスの決定手法

曝露ガイドラインは、EMF曝露の基本制限に相当する、測定可能な電磁界レベルについて一般的、実践的な情報を提供しなければならない。開発されたその国の曝露基準は、その国の法律の枠内に置かれ、また国際的ガイドラインや勧告に基づいているであろう。

特定の曝露状況に関してのより詳しい技術的助言は、曝露ガイドラインのコンプライアンスを査定する

ため、および／または査定を可能にするための物理学、工学の専門的知識を必要とする。これには、測定原理と実施法、曝露低減のための設備および／またはシールドの設計、また適切な場合には特定の型式の機器の放射制限設定などに関するガイダンスが含まれる。この仕事を実行する機関は、国際的、地域的および各国別の技術基準にかかわる組織体であり、国際電子技術委員会（ＩＥＣ）、国際通信連合（ＩＴＵ）、国際標準機関（ＩＳＯ）、電気電子工学会（ＩＥＥＥ）、欧州電子技術標準化委員会（ＣＥＮＥＬＥＣ）などがある。

コンプライアンス評価に用いられる測定における不確実性は、コンプライアンス方法の開発に責任をもつ機関が最善を尽くして取り扱わねばならない実際的問題である。しかし、測定技術の改良と数値計算によるドシメトリが現在では利用可能になったことは特記に価する。これらが適切にガイドラインに組み込まれれば、不確実性は減少し、したがって安全係数は小さくなるであろう。

4.6　実施の費用と健康への直接的利益

公衆の論争では、電磁界の有害性の可能性が中心になり、その有益性は無視されることが多い。電気なしでは、社会は生活の質が大きく低下し、それは健康への負の影響を伴う。同様に、放送や通信は現代生活の一部になっている。技術の有益性と有害性を比較検討することは重要である。有害性が一つあるのは当然であろう。

曝露分布と各曝露レベルの人口割合は、ＥＭＦ曝露ガイドラインの実施に関連する重要な要素である。そのような分布について利用できるデータは限られることが多いが、データがある場合は、勧告されたＥＭＦ曝露ガイドラインを実施した場合の社会的、経済的影響について重要な洞察が得られる。労働者と公衆の安全は、基本制限を設定する時の最大の重要点である。いくつかの国では、不必要な経済的負担を避けるために、参考レベルを設定する時、経済的考察が働く可能性がある。政府はあくまで、問題の総体的見方を得るために、ガイドライン採用の前に費用－利益分析の実施を検討すべきである。

5.　予防原則の観点

健康への悪影響が存在することが、現在のＥＭＦ曝露ガイドラインの理論的根拠である。しかし、科学的研究は続けられているものの、ＥＭＦに関連したヒトの健康への悪影響の可能性を確定的に評価するにはデータが充分でない状況がある。不確実性を取り扱うために、防護のいくつかのアプローチが提案されている。近年、警告的な政策、特に予防原則に関する参考文献が数を増してきた。

予防原則は国際法の中に記述されており、ヨーロッパの環境法の基盤である。また、いくつかの国において、あるＥＭＦ曝露状況についての法律や勧告に参照されている。予防原則の厳密な定義やその発動に

よる効力の範囲については大きな差異があり、定まっていない。

予防原則を利用した活動はリスクマネジメントである。一方、確立された健康影響を基盤にしたＥＭＦ曝露安全基準やガイドラインの開発はリスク分析である。ＥＭＦに関する警告的政策は十分な慎重さと熟慮をもって採用されるべきである。最も重要なことは、科学的リスクアセスメントや科学に基づいた曝露制限の価値を傷つけることのないように、この原則を採用することである。ＷＨＯは現在、科学的不確実性の取り扱いについて予防的対策の利用を進めるための枠組みで活動している。

付録A　調査研究のクライテリア

ヒトでの研究

曝露レベルと健康への悪影響との関係についてのヒトでの調査には、ヒトでの実験または疫学研究が利用できる。そのような研究は、結果の解釈において、バイアス、交絡、偶然的変動の影響を十分に考慮し、その影響を低下させるためのクライテリアを満足することが求められる。バイアスは研究デザインやその実行における因子の作用であり、それにより誤って、曝露と研究目的である健康影響との間に真に存在する関連が一貫して弱められたり、強められたりする。交絡は、曝露と健康影響に因果関係のある他の因子との間に関連があるために、観察している関連が真の大きさより強く、または弱く見えるようになる状況で起こる。これら誤差の原因の影響を小さくするために適切な作業がなされていないと、研究結果の信頼性と最終的重要性は低下する。

高品質の疫学研究遂行についてのガイドラインはBeagleholeら（1993)、Ahlbom（1996)によって、またヒトでの試験についてはPocock (1983)によって与えられている。それらの概要は以下のとおりである。

1. 研究デザインは、研究目的への到達および研究資源の利用の両面において、最大限の効率を目指さなければならない。研究目的や曝露と健康悪影響との間の疑がわれる関係の性質によって、ケース-コントロール、コホートなど適切な研究デザインは様々である。

2. 適正な人口標本サイズと統計的検出力の確認を最優先の統計的評価としなければならない。相対リスクの上昇が小さいと思われるときには、重要な検討課題である。

3. 研究対象の人口集団は、研究開始時にはっきり定義されていなければならない。検証しようとする仮定は明確に記述されなければならない。患者のケースを確認する方法についても明確な記述が必要であり、ケースの同定は曝露と無関係でなければならない。

4. ケースーコントロール研究では、研究目的とデザインを考慮して、コントロールは適切に選ばれなくてはならない。これにより、調査に本来潜む要因以外の要因の影響を最小にすることができ

る。

5. 研究デザインにかかわらず、無回答や不参加を最小にすることが重要である。これは、必要とされる研究標本サイズを達成するためであり、また（病気と曝露状況の両者に関連した）選択的な無回答によるバイアスの可能性を最小にするためでもある。研究に関する情報を丹念に普及し、研究立案段階から調査集団の代表者に参加をしてもらうことにより、高参加率を達成しやすくなる。

6. 研究デザインと分析において、研究者は交絡因子の可能性を考慮しなければならない。可能性のある交絡因子に関するデータを収集し、結果や結論への交絡の影響を最小にするために適切な統計的分析を用いなければならない。研究で注目している健康悪影響に因果関係を持つ要因に関して限られた知識しかないことが多い中で、可能性のある交絡因子の同定は難しいことは認められている。

7. 研究者は可能な限り精密に曝露の特性を記述しなければならない。各曝露レベルとその持続時間およびその時々の場所に関するデータを収集し、用いた曝露量計測尺度を確認しなければならない。研究のデザインおよび分析の両段階で、そのようなデータを、十分に確認し、利用することを考慮しなければならない。もしできれば、曝露アセスメントは個人を基本に行うべきである。代替的曝露尺度を用いる必要性は、実際上、認められる。いくつかの曝露群にカテゴリー化するとき、誤分類が起きる可能性がある。そのような曝露の無差別的誤分類は、結果を“無”の方向への、すなわち真の影響を過小評価に導く傾きのバイアスを生む。

8. 課題の複雑さを考慮すれば、適切な全ての学問分野の専門知識を用いて研究をデザインし遂行すべきである。

9. 統計的分析に用いた方法は、研究目的に合致し、また明確に記述されなければならない。

10. 高度に複雑な、あるいは標準的でない分析手法を用いる場合は、研究者はデータの記述的分析を報告しなければならない。少なくとも、ケースーコントロール研究においては曝露、非曝露のケースとコントロールの数、コホート研究においてはケースの観察数と期待数を提供しなければならない。曝露以外の調査した要因（交絡因子の可能性があるもの）の影響についても報告しなければならない。

11. よくデザインされ、遂行された研究は結果の如何にかかわらず、公表すべきである。否定的結果は肯定的結果と同等に、データベースとして有用である。

12. 将来、いくつかの研究の一括分析を可能とするためには、標準的な質問紙や方法を使用し、デー

タを報告するなどの、適切な手法をとるよう配慮すべきである。

臨床試験のようなヒトでの実験的研究では、上述の項目に加えて、良い研究は以下の点を有する。

1. 研究目的に適した二重盲検法でデザインされている

2. ボランティアの採用、除外に関して、適切で十分に記述されたクライテリアをもつ

3. 倫理的ルールと制限条項を固く守る

動物実験(in vivo)

実験動物で適切に研究された、これまでに知られている全てのヒトの発ガン因子は、１種または数種の動物種でポジティブな結果を示している（IARC,1995）。一般的に、ヒトの研究での適切なデータがない場合、動物で十分な病気の証拠を示した研究をヒトでの病気リスクの証拠と見なすことは、生物学的に妥当で、慎重な考え方である（IARC,1995）。しかし動物モデルは、ヒトで報告されている病気に関連性があることが必要である。ヒトでは働かない、その種特有のメカニズムによって、曝露が病気を引き起こしている可能性についても考慮すべきである。多様な動物モデルを用いて、ポジティブな結果に一貫性が示されることは重要である。

1. 曝露により発生した病気をアセスメントする場合、研究品質の点でいくつか検討される。研究が行われた実験条件（曝露管理、動物の種・系統・性別・年齢、フォローアップの期間）、種および標的器官、病気スペクトル（例えば、がんの場合、前がん病変や良性腫瘍から悪性新生物までの新生物反応のスペクトル）に亘る結果の一貫性、修飾因子の果たす役割の可能性などがこれに含まれる。

2. 曝露特性および関連する環境因子の完全な記述は、動物実験では不可欠である。

3. 病気発生の確率は、動物の種・系統・性別・年齢およびフォローアップの期間に依存する可能性がある。曝露レベルとともに病気が増加することを示した証拠は、因果関係の推定をより強化する。量－反応関係の型は重要であるが、幅広い違いがあるかもしれない。発がんに関しては、DNA損傷と細胞分裂増加が重要な観点である。

4. もしヒトの研究で、例えば、稀少がんの２５％増加が示唆されているとすると、動物実験はこの小さな影響を検出するに十分な感度を持たなければならない。がん発生の基本レベルを知り、もし曝露によりがんが発生すれば、それによる増加がかなり小さくても検出が可能であるようにす

るために、動物モデルは十分に特徴が把握されていなければならない。もし研究結果が否定的ならば、その研究はこの点をある程度の確かさで実証することが出来るはずなので、その研究が検出しうるリスクの大きさを示すべきである。多くの否定的研究は、問題とする影響を検出するために十分な力を持っていない。

5. 長期動物実験の統計的分析を検討するときは、各処置群に関する適切な情報が示されなくてはならない。研究対象の動物数、病理検査した動物数、病型の発生分布、生存時間などである。一般的に、用いた分析方法や統計的方法は、目的に対して適切で洗練されたものでなければならない（Gart，1986）。

試験管内実験研究（in vitro）

高品質の実験室研究の実施に関する詳細なガイドラインは、米国ＦＤＡの実験研究実技ガイダンス（ＦＤＡ，1993）および米国毒性学プログラムによる仕様書（ＮＴＰ，1992）から得られる。重要な点は以下に示す。

実験技術、方法、条件は可能な限り客観性があり、研究目的に適した生物システムに拠らなければならない。二重盲検法、スコアリングやコード化の盲目的方法など、バイアスを避ける方法を必要に応じて用いるべきである。コントロール群を用いる場合には、ポジティブ･コントロールとネガティブ･コントロールの両方を用いる努力がなされるべきである。実験の感度は、影響が真にあるとすれば、それが検出されると思われる可能性を確認できる程度の感度でなければならない。

1. 全てのデータ分析は、完全に客観的でなければならず、検討から削除された関連データがあってはならず、一様な分析方法を用いなければならない。同一プロトコル内の実験データは、内的に一貫していなければならない。結果を率比で報告する場合、その下敷きであるデータも報告し、詳細な分析が出来るようにすべきである。

2. 公表の際、実験方法の記述は十分、詳細にすべきである。これは、要求項目1，2を満すべく全ての正当な注意を払ったことを批判的な読者に納得させるため、および他の研究者による再現を可能にするためである。

3. 結果は、適切な検定を用いて、統計的に有意であるべきである。

4. 結果は、定量化でき、かつ別の研究者によって確認することが可能でなければならない。なるべくなら、実験を繰り返して、データを独立に確認すべきか、または、主張する影響が、類似の生

物システムを用いた同様に実験の結果と一貫性をもつべきである。理論(例えば、相互作用のメカニズム)は、実験的に検証可能な、具体的な予知を示し、もしそれが正しいならば立証されなければならない。

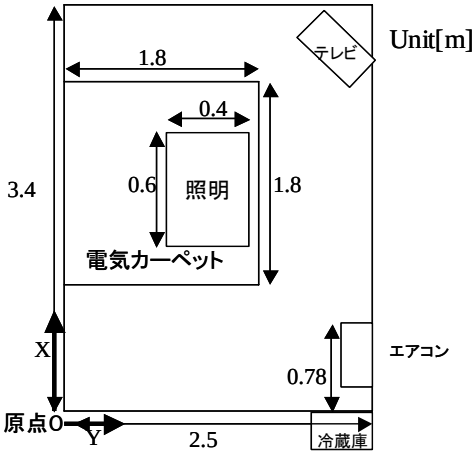
5. 結果を、新しい科学原則によるものとする前に、これまでに承認されている科学原則の観点から見るべきである。これまでに確認されていない関連を指し示すような研究知見は慎重に評価され、適切な追加的研究が実施されなければ、受け入れられない。

付録B

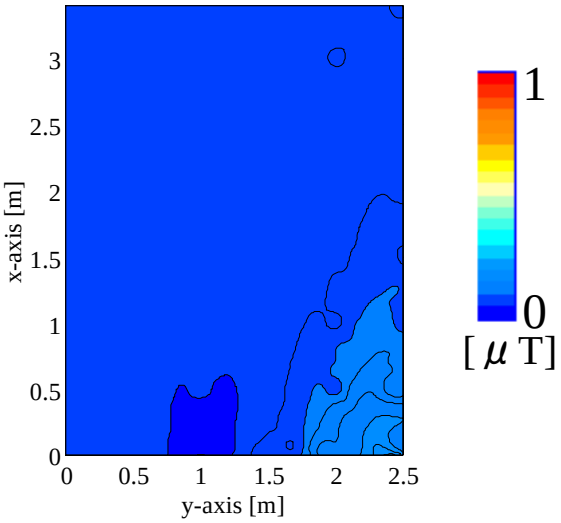
文献レビュー用フォーム例(各国規制機関向けにIEEEが提供する)

（追加掲載予定）

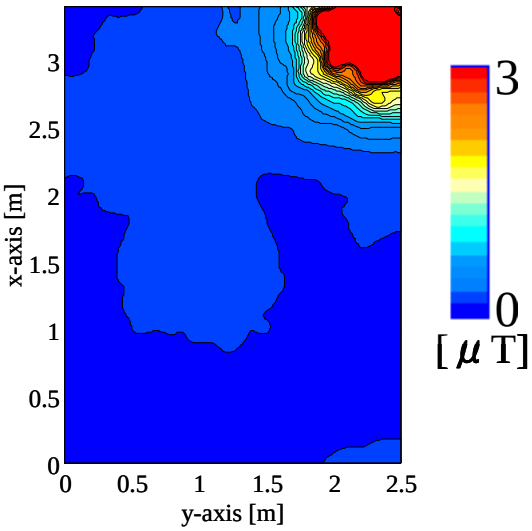
（６）三鷹



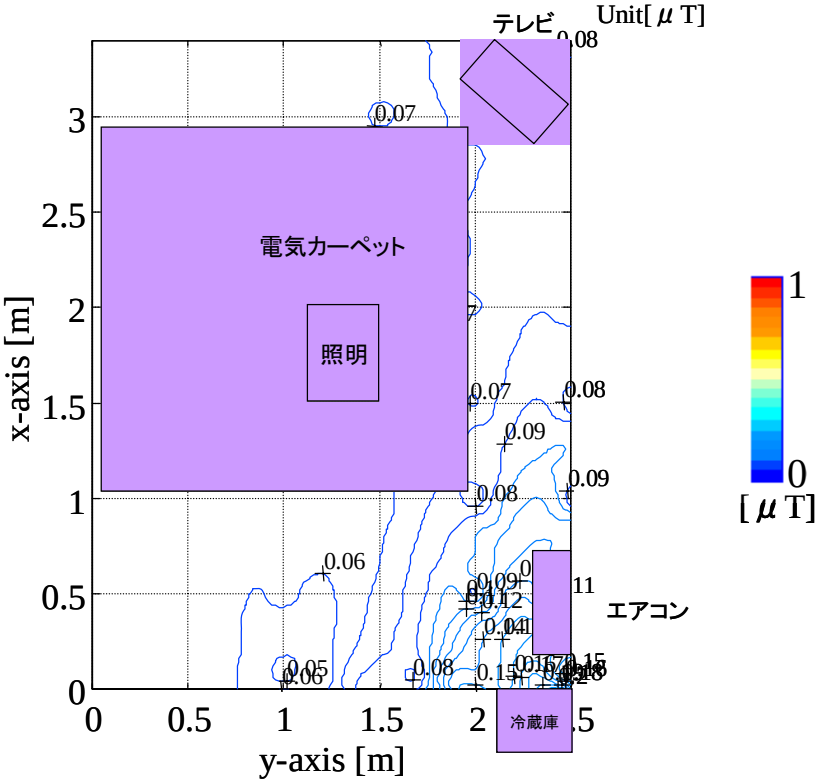
電源off



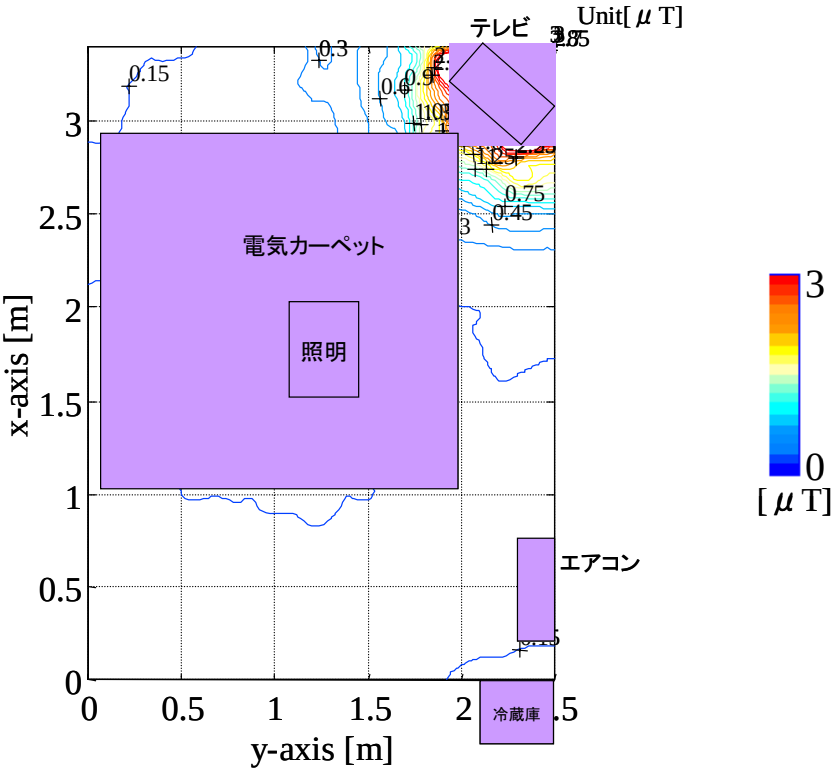
電源on



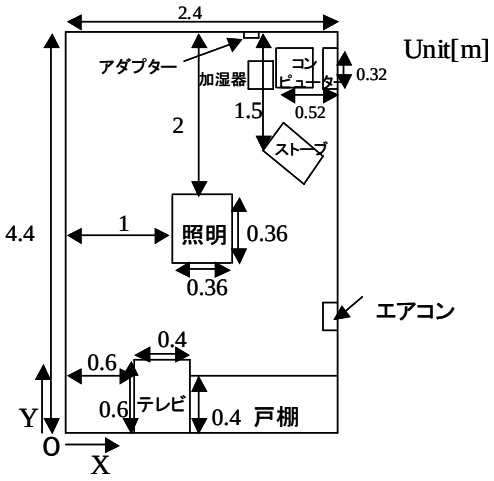
電源OFF


Unit[μT]
テレビ
電気カーペット
照明
エアコン
冷蔵庫
x-axis [m]
y-axis [m]
[μT]

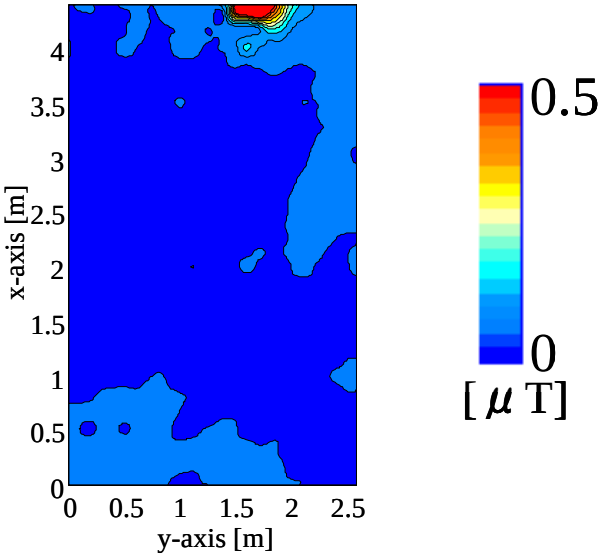
電源ON


Unit[μT]
テレビ
電気カーペット
照明
エアコン
冷蔵庫
x-axis [m]
y-axis [m]
[μT]

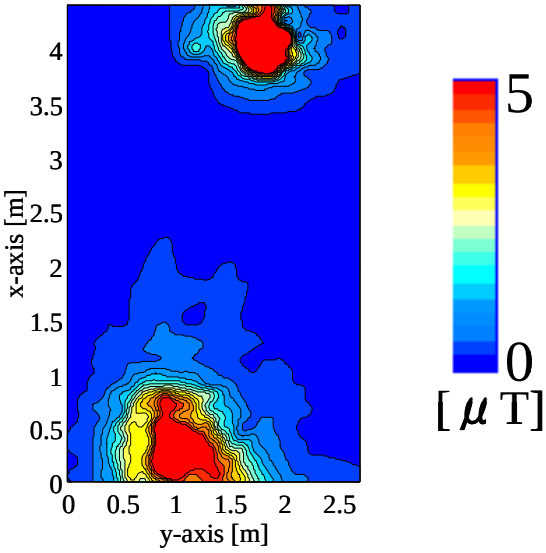
（７）東大泉

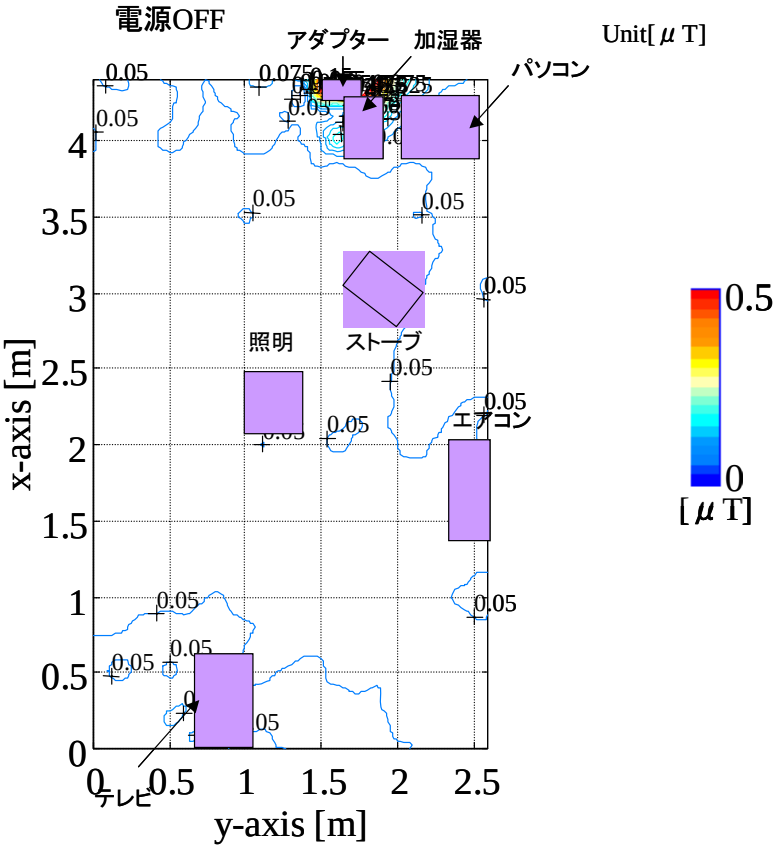


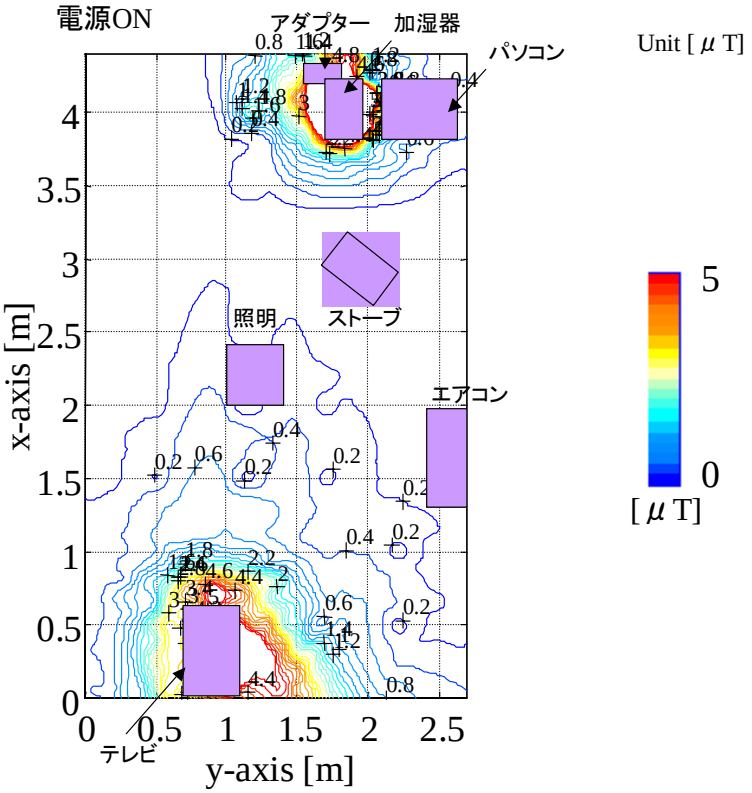
電源off



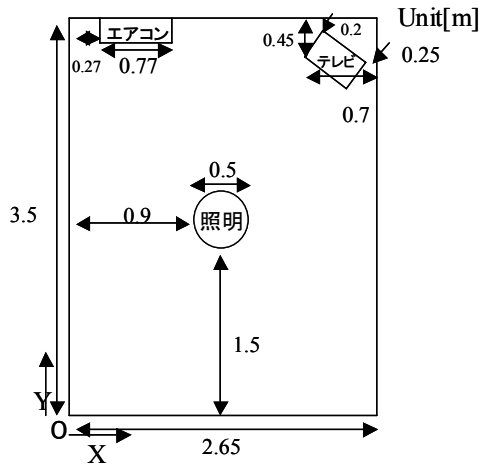
電源on



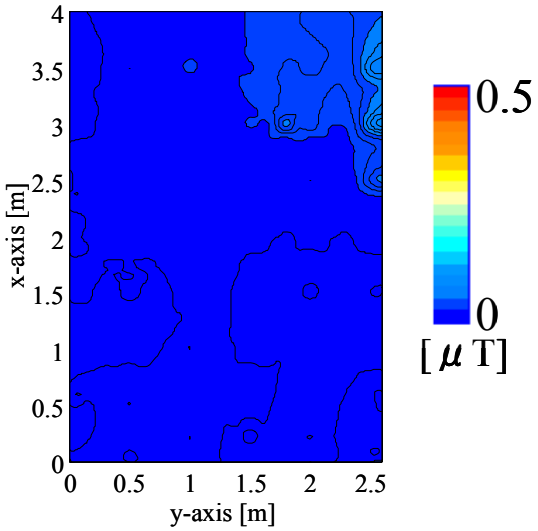

電源OFF
アダプター
加湿器
パソコン
Unit[μT]
照明
ストーブ
エアコン
テレビ
x-axis [m]
y-axis [m]
0.5
0
[μT]


電源ON
アダプター
加湿器
パソコン
Unit [μT]
照明
ストーブ
エアコン
テレビ
x-axis [m]
y-axis [m]
5
0
[μT]

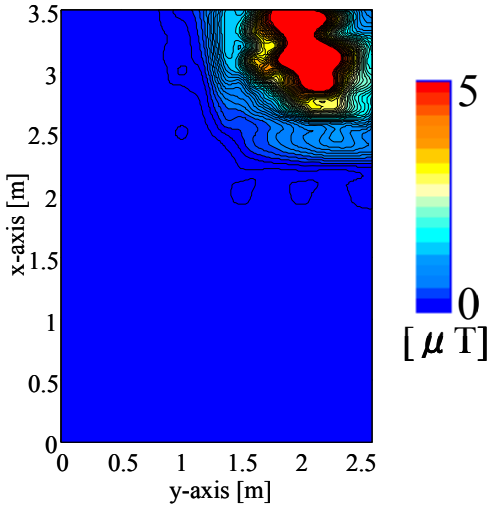
（８）金町



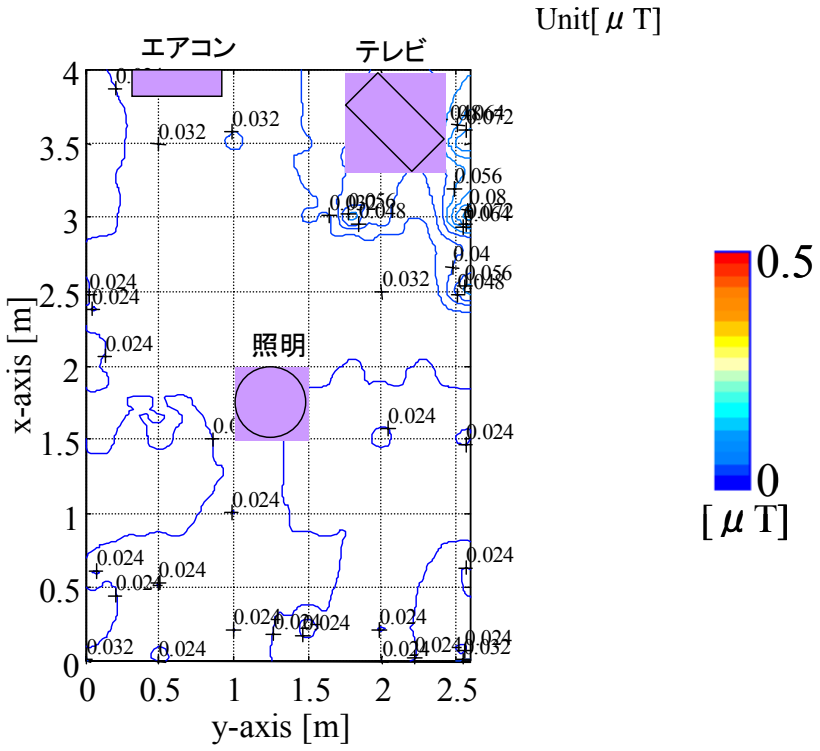
電源off



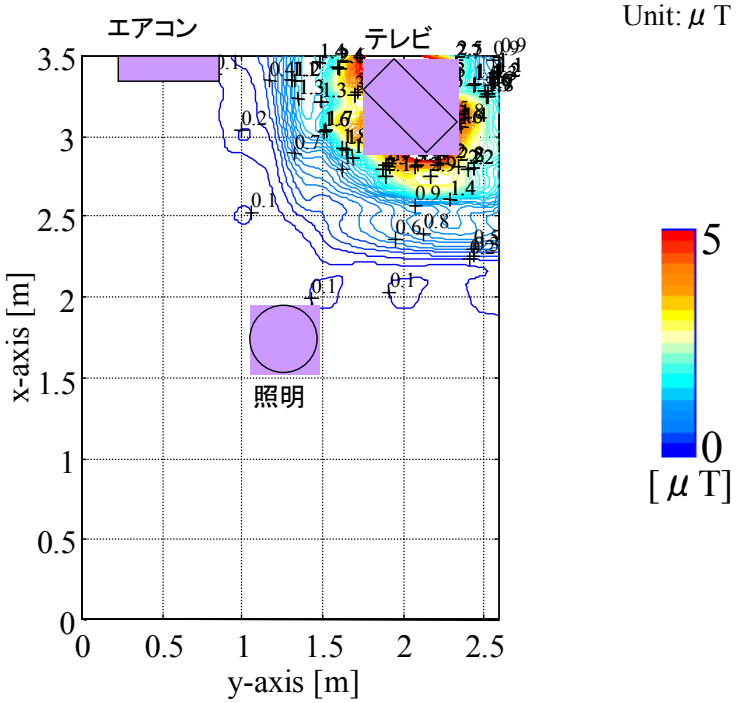
電源on



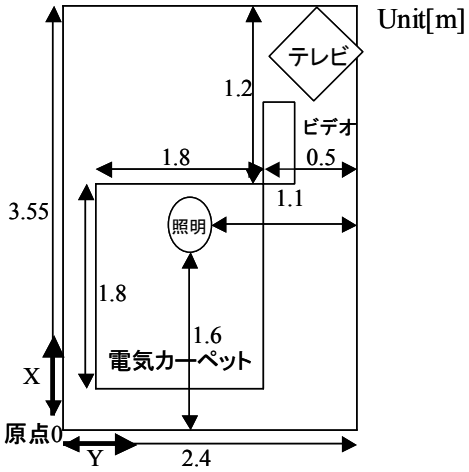
電源 OFF


Unit[μT]
エアコン
テレビ
照明
x-axis [m]
y-axis [m]
0.5
0
[μT]

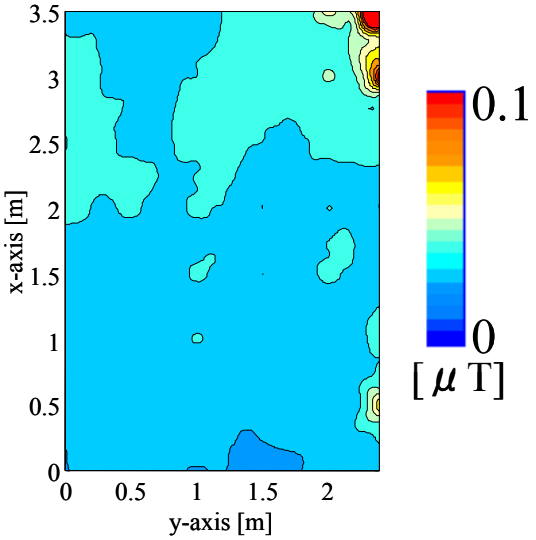
電源 ON


Unit: μT
エアコン
テレビ
照明
x-axis [m]
y-axis [m]
5
0
[μT]

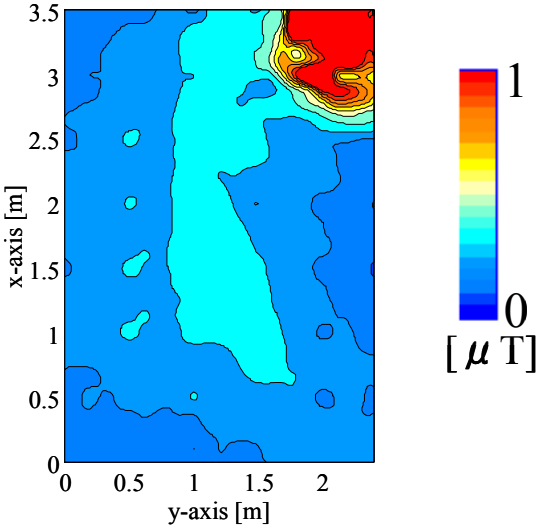
（９）浜田山

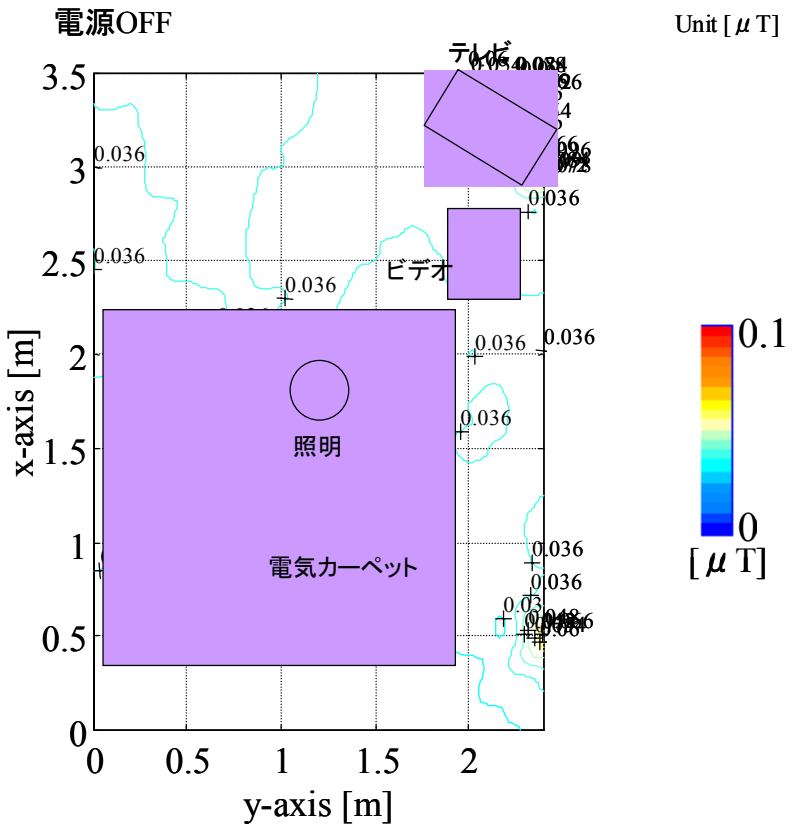


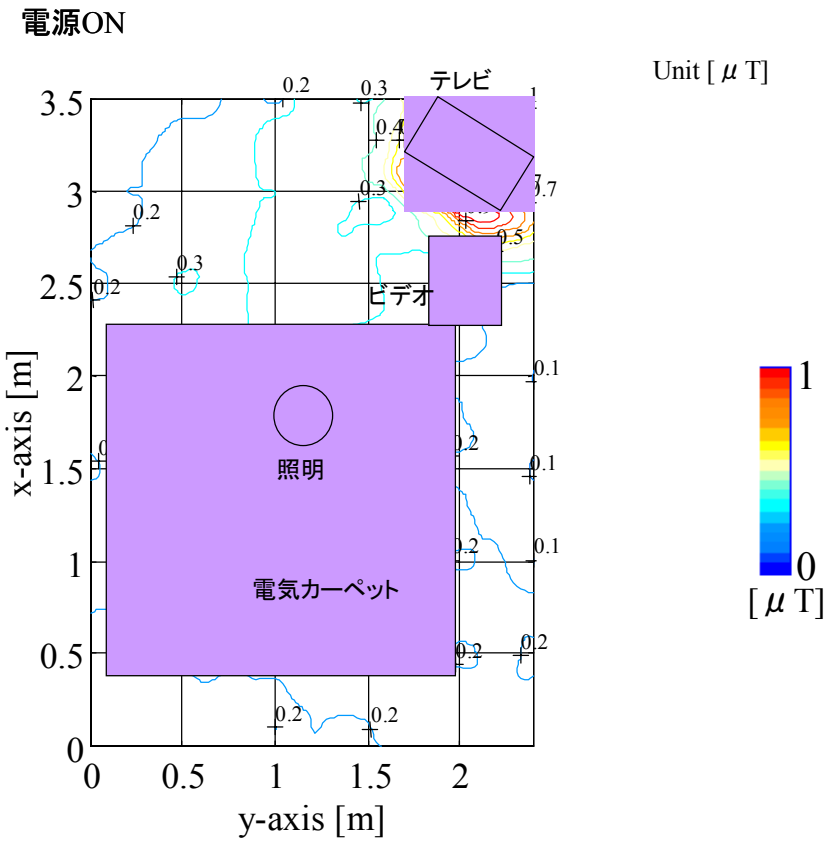
電源off



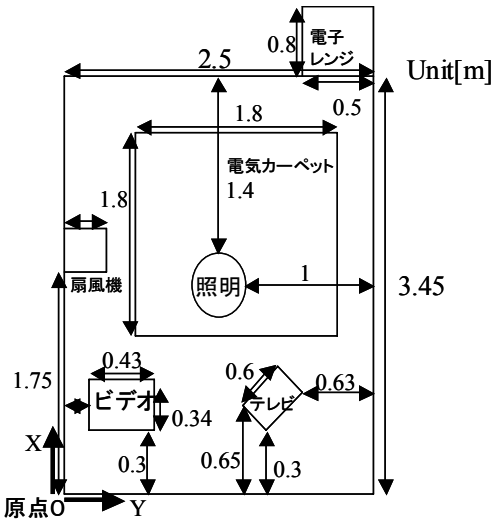
電源on



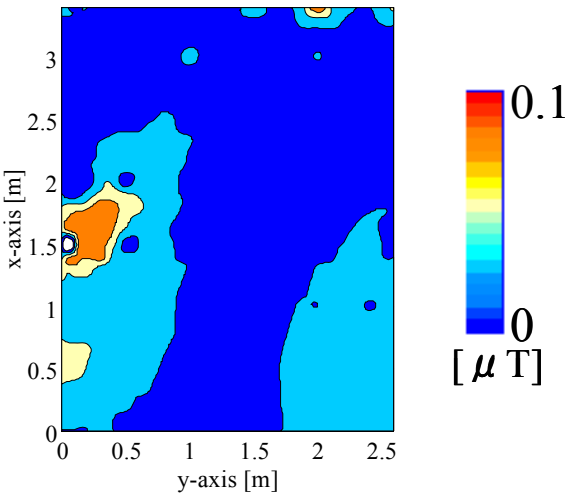

電源OFF
Unit [μT]
テレビ
ビデオ
照明
電気カーペット
x-axis [m]
y-axis [m]
0.036
0.1
0
[μT]


電源ON
Unit [μT]
テレビ
ビデオ
照明
電気カーペット
x-axis [m]
y-axis [m]
0.2
0.3
0.4
0.5
0.1
1
0
[μT]

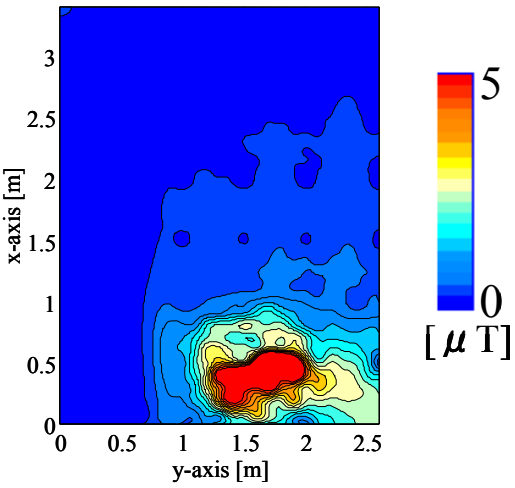
（１０）人形町

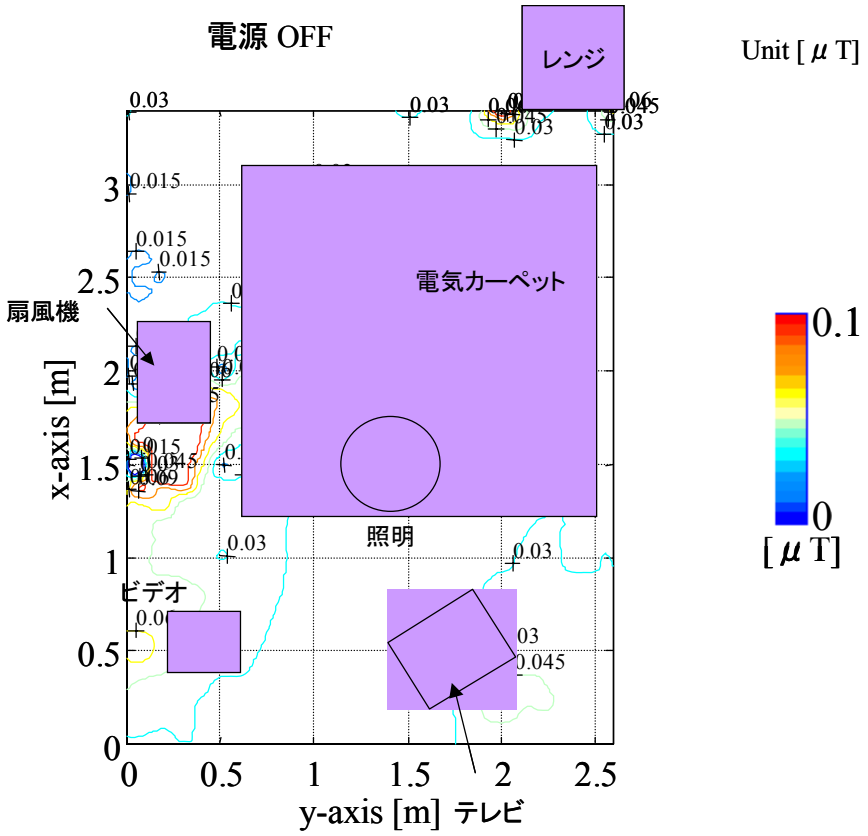

電子
レンジ
0.8
2.5
Unit[m]
0.5
1.8
電気カーペット
1.4
1.8
扇風機
照明
1
3.45
0.43
1.75
0.6
0.63
ビデオ
テレビ
0.34
X
0.3
0.65
0.3
原点O
Y

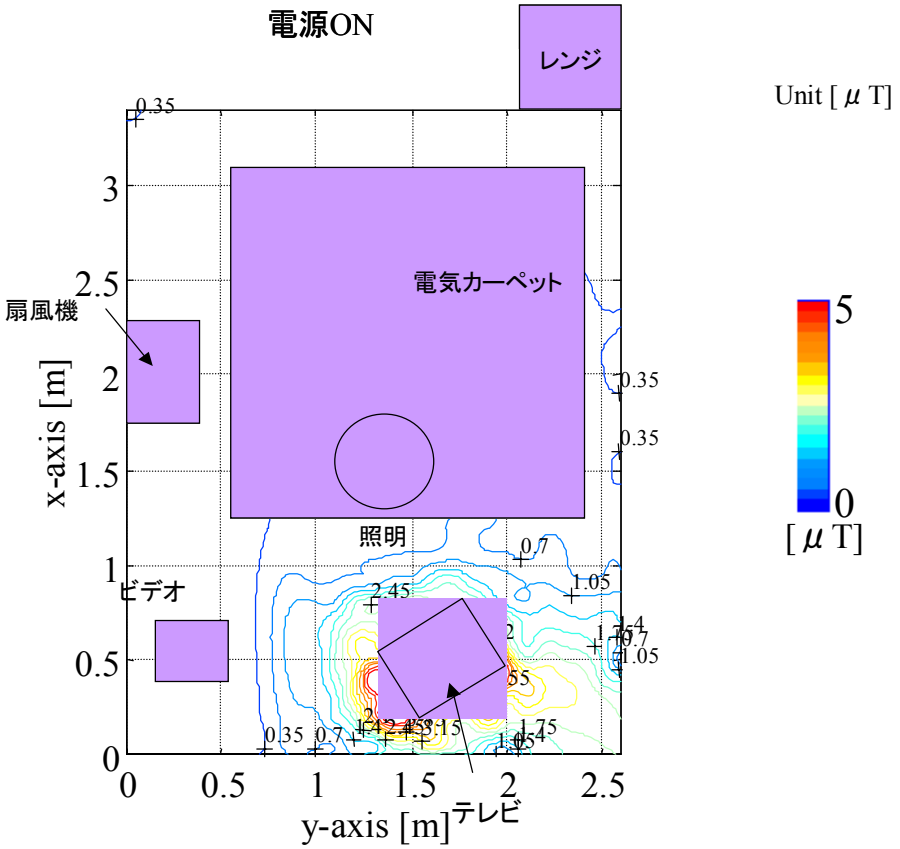
電源off


x-axis [m]
y-axis [m]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
0.1
0
[μT]

電源on


x-axis [m]
y-axis [m]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
5
0
[μT]


電源 OFF
レンジ
Unit [μ T]
電気カーペット
扇風機
照明
ビデオ
テレビ
x-axis [m]
y-axis [m]
0.1
0
[μ T]

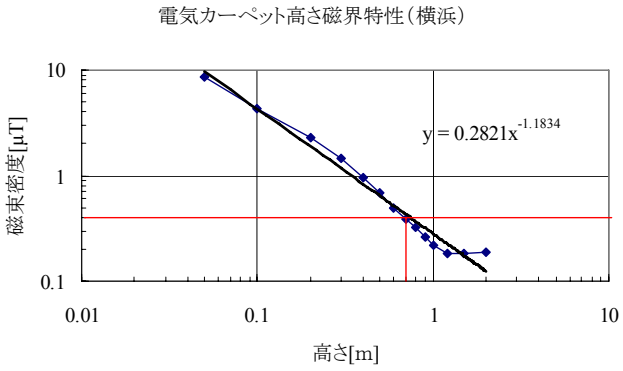

電源ON
レンジ
Unit [μ T]
電気カーペット
扇風機
照明
ビデオ
テレビ
x-axis [m]
y-axis [m]
5
0
[μ T]

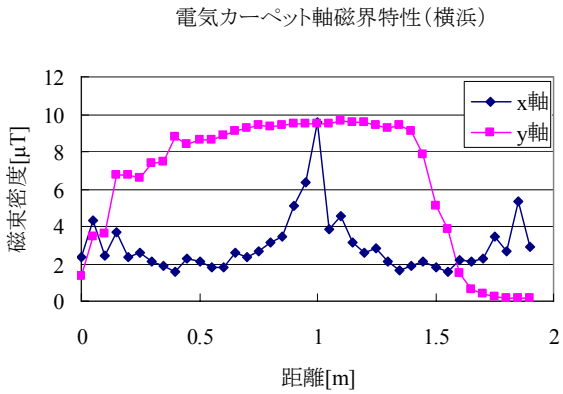
８．電気カーペット、TV,　加湿器から発生する磁界の距離特性

８－１　電気カーペットから発生する磁界の距離特性

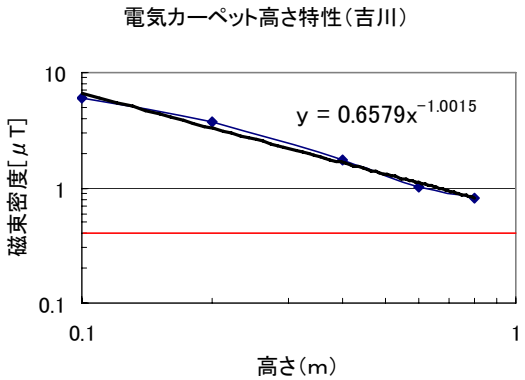
磁界の高さ特性と電気カーペットから 0.05mでの分布を測定したが、高さ特性はカーペットの中央での高さを変化した場合の磁界の減衰特性であり、分布測定はカーペットの中央の点で交差するＸ軸とＹ軸上で行なった。

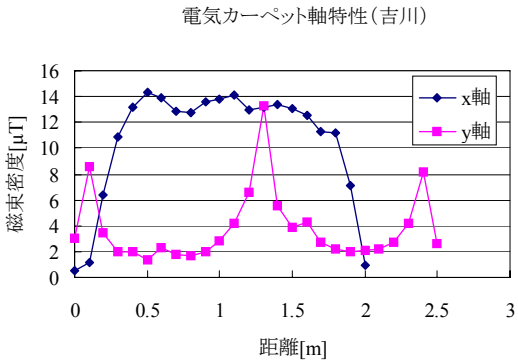
（１）横浜





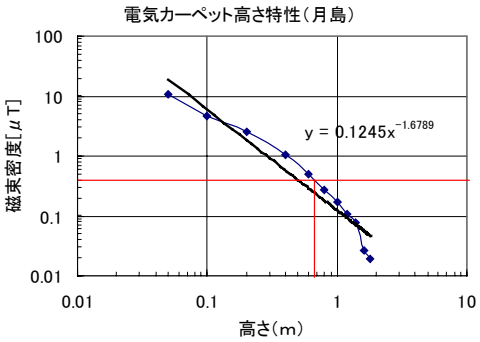
（２）吉川

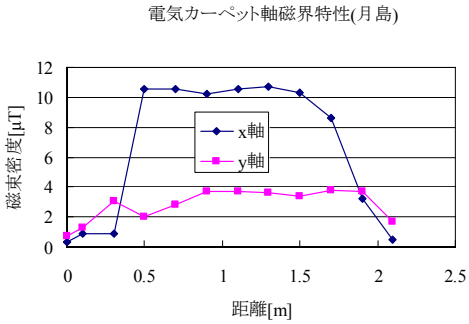




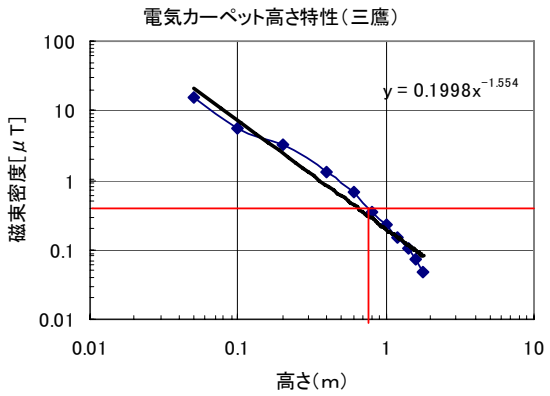
（３）月島

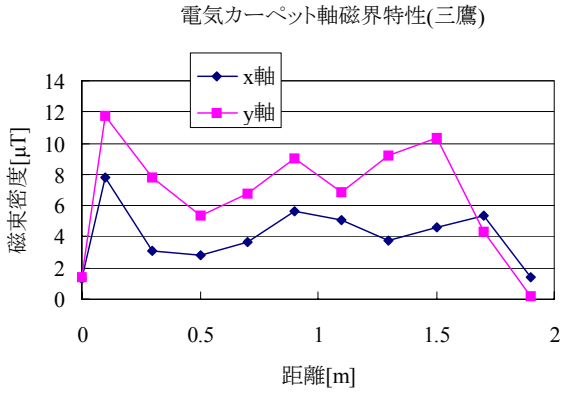
（４



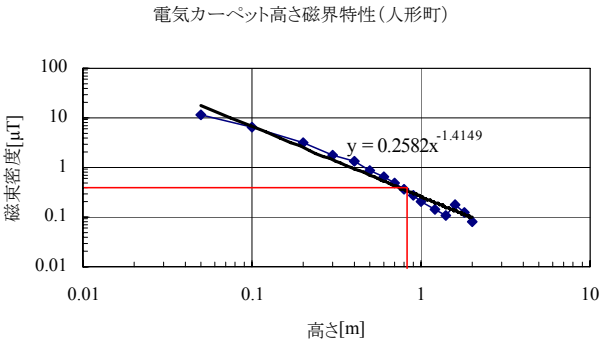


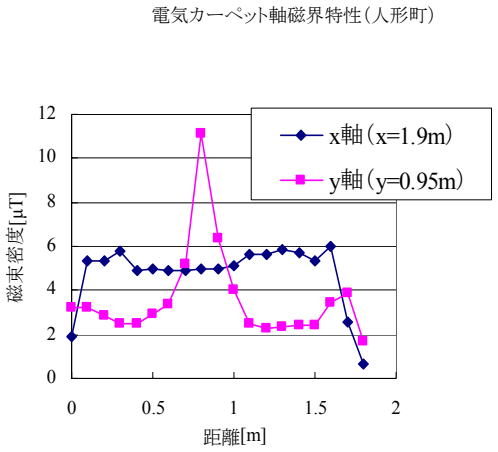
）三鷹


電気カーペット高さ特性（三鷹）
y = 0.1998x^-1.554
磁束密度[μT]
高さ(m)
100
10
1
0.1
0.01
0.01
0.1
1
10


電気カーペット軸磁界特性(三鷹)
x軸
y軸
磁束密度[μT]
距離[m]
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0.5
1
1.5
2

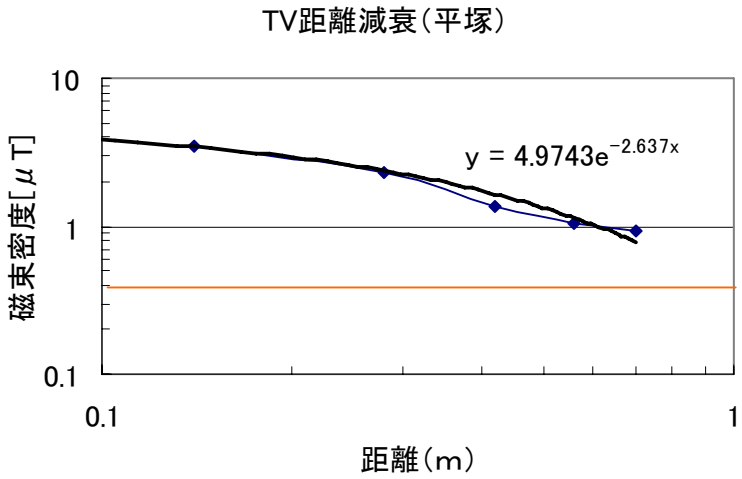
（５）　人形町


電気カーペット高さ磁界特性（人形町）
y = 0.2582x^-1.4149
磁束密度[μT]
高さ[m]
100
10
1
0.1
0.01
0.01
0.1
1
10

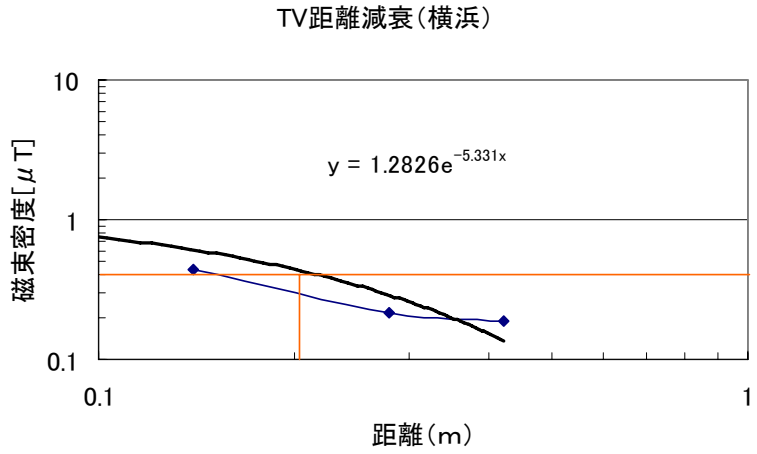

電気カーペット軸磁界特性（人形町）
x軸（x=1.9m）
y軸（y=0.95m）
磁束密度[μT]
距離[m]
12
10
8
6
4
2
0
0
0.5
1
1.5
2

８－２　TV から発生する磁界の距離特性

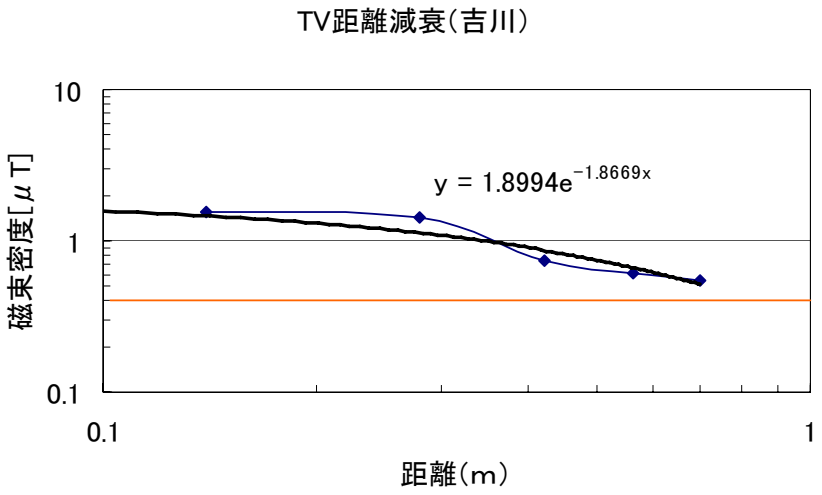
（１）　平塚（CRT）



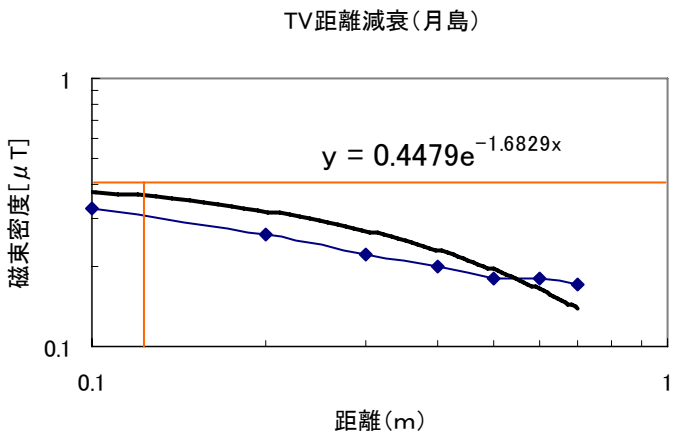
（２）横浜（プラズマ）



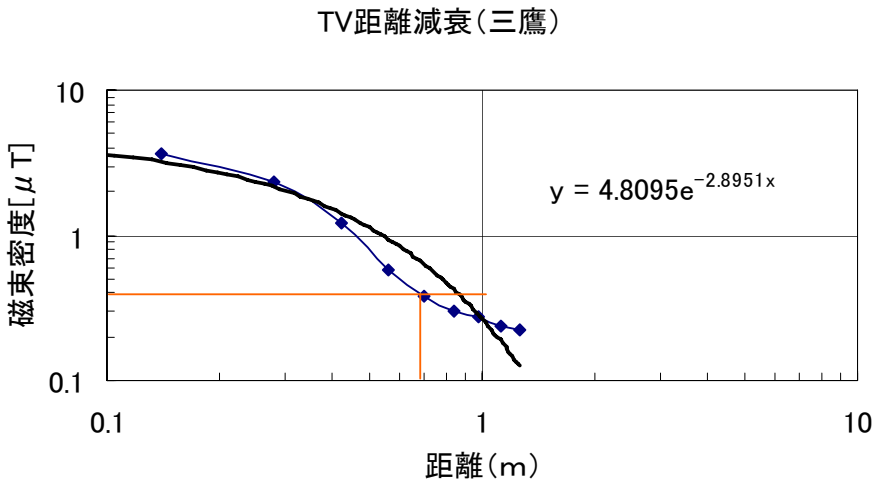
（３）吉川（CRT）



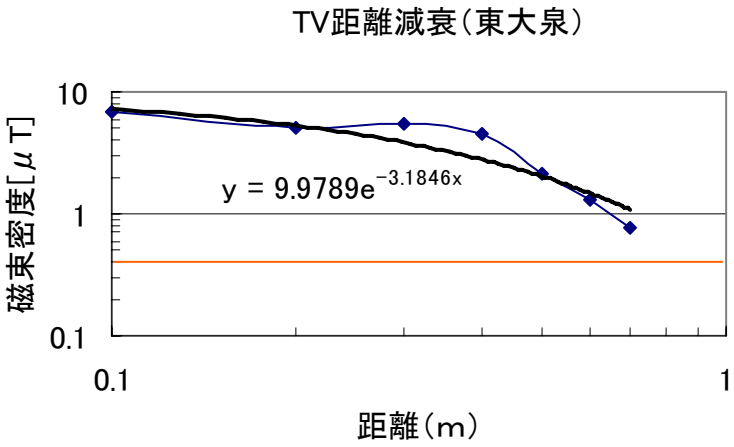
（４）月島（液晶）



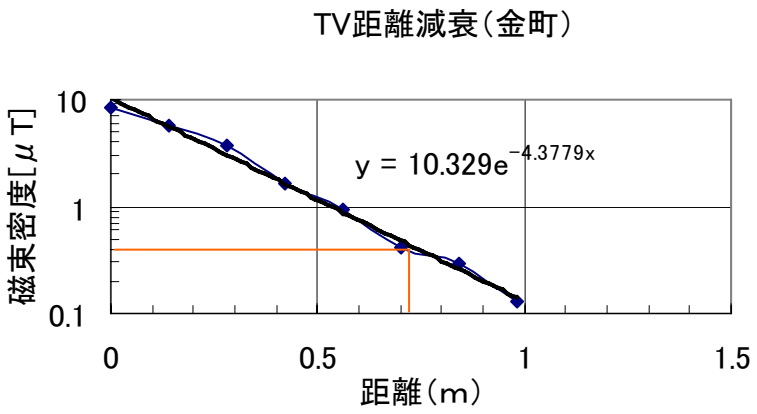
（５）三鷹（CRT）



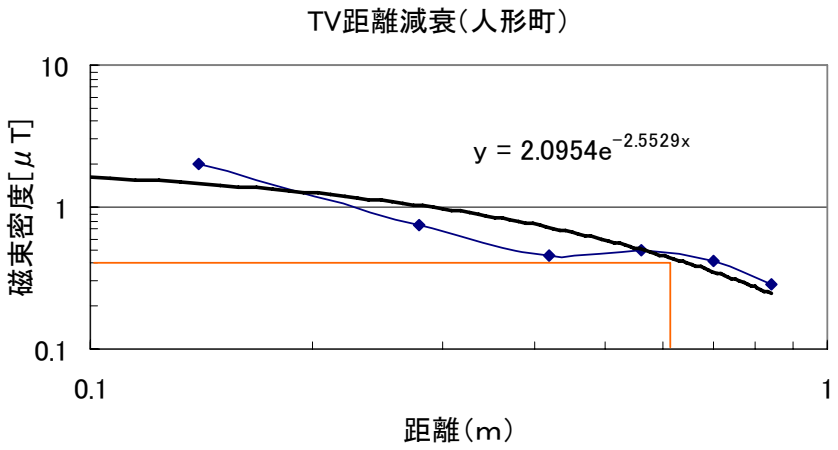
（６）東大泉（CRT）



（７）金町（CRT）

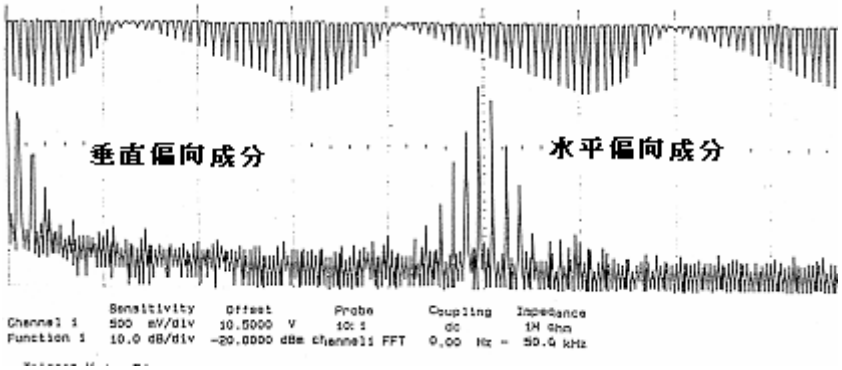


（８）人形町（CRT）

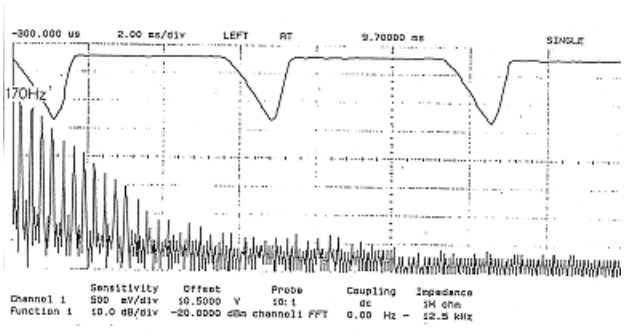


８－３　CRT ディスプレイから発生する磁界波形

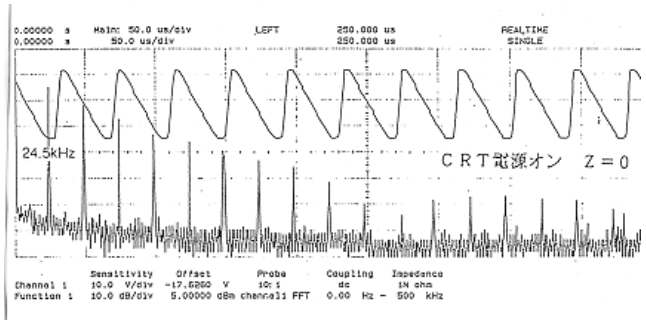
（１）DC～50ｋHz の周波数範囲



（２）垂直偏向磁界（基本周波数 170Hz）

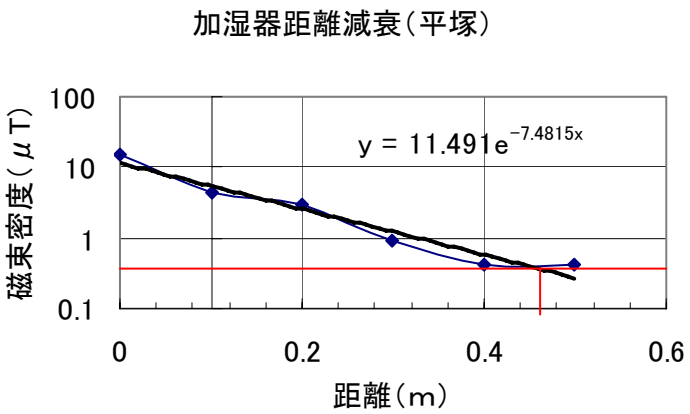


（３）水平偏向磁界（基本周波数 24.5ｋHz）

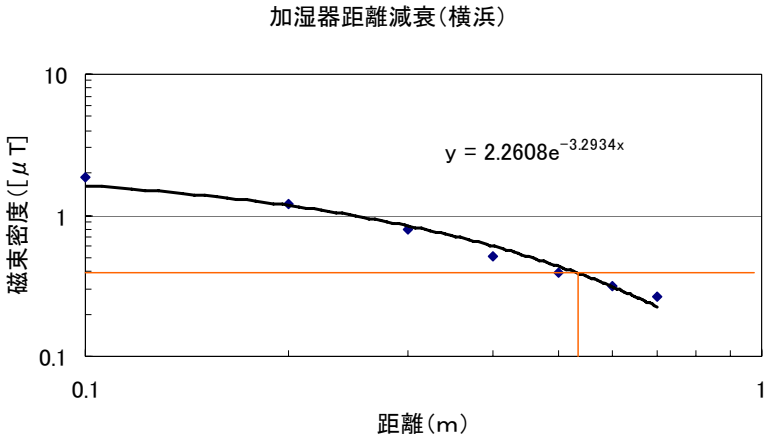


８－４　加湿器から発生する磁界の距離特性

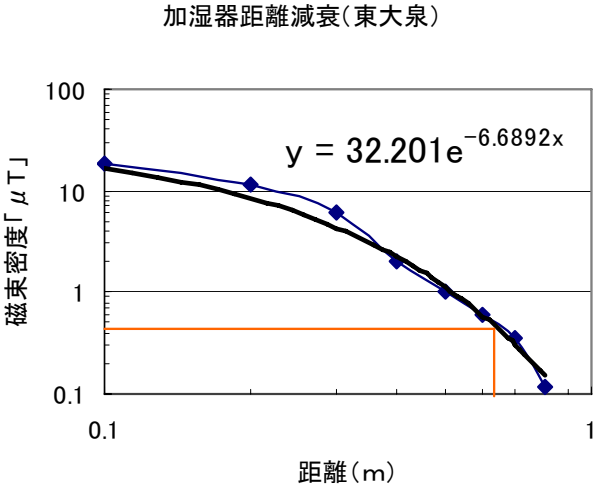
（１）平塚



（２）横浜



（３）東大泉



９．検討

表２は 10 件の家庭の子供部屋の家電製品の電源 OFF，ON 時の結果まとめたものである。

0.4［μT]以上の磁界の部屋全体の占める割合、平均磁界、最大磁界、および最小磁界を示したものである。

９－１　電源 OFF の場合

（１）平塚、（３）吉川の最小磁界はそれぞれ 0.56［μT］と 0.43［μT]であり、部屋全体が 0.4[μT]を超えている。これは平塚および吉川は部屋の近くに配電線があるためであり、電源 OFF 時のコンター図を見ると配電線に近い側から遠ざかるに従い磁界が減衰していることから推察される。また、（１）平塚の最大磁界は 1.31［μT]で、（３）吉川の最大磁界 0.75[μT］より 1.74 倍

くらい大きい。これは平塚の部屋から水平距離で 1.7［m］に配電線があり、吉川の部屋から水平距離で 2.5［m］に比べて近い距離に配電線がある。しかも平塚の場合は子供部屋は 2 階であり配電線から垂直方向の距離も近いためである。

(7)大泉および（９）浜田山で最大磁界がそれぞれ 1.62［μT］と 1.19［μT］であるが、電源アダプターがコンセントに接続されたままで、それによる漏洩磁界が局部的にでているためである。

それ以外の（2）横浜、(4) 上原、(5)月島、(6)三鷹、(8) 金町、(10) 人形町での最大磁界値は 0.22［μT］を超える場所はなく 0.4［μT］以下である。

９－２　電源 ON の場合

(1)平塚の磁界発生源は TV(CRT)と加湿器で、最大磁界値は 15.6［μT］に達する場所もある。

また 0.4［μT］以上の磁界の占める割合はほぼ 100［%］である。

(2)横浜の磁界発生源は TV(プラズマ)と加湿器であり、TV はプラズマディスプレイのため CRT より漏れ磁界は小さい。また 0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 7.5［%］であり加湿器によるものである。

(3)吉川の磁界発生源は TV(CRT)である。0.4［μT］以上の磁界の占める割合はほぼ 100%である。

(4)上原の磁界発生源は TV(液晶)と電源アダプターであるが、いずれも発生磁界は小さく 0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 0［%］である。

(5)月島の磁界発生源は TV(液晶)である。発生する磁界は小さく 0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 4.3［%］である。

(6)三鷹の磁界発生源は TV(CRT)である。また隣室の冷蔵庫が測定対象の部屋に接しており磁界発生源となるっている。0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 11.5［%］である。

(7)東大泉の磁界発生源は TV(CRT) と加湿器であり最大磁界値も 20.23［μT］と大きい磁界を発生している。0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 35.5［%］である。

(8)金町の磁界発生源は TV(CRT) である。0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 17.2［%］である。

(9)浜田山の磁界発生源は TV(CRT) である。0.4［μT］以上の磁界の占める割合は 2.5［%］である。

表２　子供部屋の家電製品の電源 OFF、ON 時の結果

番号	測定家庭所在地	電源 OFF 時			電源 ON 時		
		0.4μT 以上の磁界の割合[%]	磁界最大値[μT]	磁界最小値[μT]	0.4μT 以上の磁界の割合[%]	磁界最大値[μT]	磁界最小値[μT]
1	平塚市広川	100	1.31	0.56	99.6	15.6	0.31
2	横浜市富士見が丘	0	0.19	0.15	7.5	2.68	0.14
3	吉川市大字保	100	0.75	0.43	99.1	4.47	0.33
4	渋谷区上原	0	0.18	0.01	0	0.25	0.02
5	中央区月島	0	0.11	0.01	4.3	0.18	0.01
6	三鷹市牟礼	0	0.21	0.05	11.5	8.99	0.06
7	練馬区東大泉	0.6	1.62	0.033	35.5	20.23	0.04
8	葛飾区金町	0	0.08	0.02	17.2	8.54	0.02
9	杉並区浜田山	0	1.19	0.04	2.5	1.02	0.01
10	中央区日本橋人形町	0	0.22	0.01	37.4	10.43	0.06

(10)人形町の磁界発生源はTV(CRT) であり最大磁界値も10.43[μT]と大きい磁界を発生している。

0.4[μT]以上の磁界の占める割合は37.4%である。主な磁界発生源がTV(CRT)だけであるが、0.4[μT]以上の磁界の占める割合が広いのは、TVを壁から0.6[m]くらい離した配置をしており、TV の裏側の空間にも磁界が漏れているためと考えられる。

９－３　電気カーペットから発生する磁界の距離特性

電気カーペットから発生する磁界は表面で最高磁界を示し高さとともに減衰する。その減衰率は高さの１乗から２乗で減衰する。いずれのカーペットでも表面から 0.8～0.9[m]の高さの範囲では 0.4 [μT]以上の磁束密度であり、高さ0.9mで0.4μT以下となる。

表面から0.05[m]の高さでのx軸とy軸上の磁束密度は、数[μT]から吉川では14[μT]におよぶものもある。

９－４　TVから発生する磁界の距離特性

横浜と上原のTVはプラズマあるいは液晶ディスプレイであり発生する磁界は小さく、画面の前面より約 0.15 [m]　以上離れると 0.4 [μT]以下になる。一方 CRT ディスプレイの場合は距離に対し指数関数的に減衰し、画面の前面より

約 0.7[m]以上離れると 0.4[μT]以下になる。

９－５　加湿器から発生する磁界の距離特性

加湿器から発生する磁界は、近傍では他の電気製品より大きいが、減衰率が大きく 3 乗から６乗で減衰し、表面から 0.5[m]～0.6[m]以上離れると 0.4［μT]以下になる。

１０．結論

１０－１　家電製品から発生する磁界

①CRT の TV は 0.7［m]以上離れれば 0.4［μT]以下になる。

②プラズマあるいは液晶ディスプレイでは 0.15［m]以上離れると 0.4［μT]以下になる。

③加湿器表面から 0.6［m]以上離れると 0.4［μT]以下になる。

④電気カーペットは、表面から 0.9［m]以下の高さでは 0.4［μT]以上の磁束密度である。

TV，加湿器等の家電製品から発生する磁界は近傍では強い磁界を発生しているが急激に減衰し、おおむね 0.7［m]以上離れれば 0.4［μT]以下になる。通常 TV から１[m]以上離れて TV を見るので磁界曝露の機会は小さいと思われる。

一方、電気カーペットは密着して使用しカーペット、全面に分布して磁界を発生しているので磁界曝露が大きいと予想される。

１０－２　配電線からの磁界

小児部屋の近くを配電線が走っている場合は、部屋全体が 0.4［μT]以上の磁束密度の値が観測され、磁界曝露が最も大きいと推察される。

2.3. まとめ

以上、小児の超低周波の磁界曝露に関して２種の測定調査を行い、冬季における関東の小児の磁界曝露実態をある程度把握することができた。これら曝露実態と示唆されている小児白血病のリスク（例えば、添付資料１）との関連を詰めるにはなおデータが不足していることは否めない。ここでは、これまでの小児白血病の疫学調査で示唆されている屋内（子供の寝室）の平均磁界レベルが 0.4μT 以上の場合、0.1μＴ未満に比較してリスクが２倍程度であることが示唆されていることを受けて、曝露レベルについても 0.4μT 以上となるような屋内外の磁界環境測定結果を整理してみた。つまり、個人曝露レベルについては 0.4μT 以上となってもそれが小児白血病リスクとなっていることを示唆している疫学的所見がないことに注意して頂きたい。

比較的高い個人磁界曝露を示す場合の主要な特徴や今後の課題等を以下列記しておくことにする。

１．個人磁界曝露を測定すると、例えば、電気カーペットの利用によって、屋内で数十μT 程度の高レベル曝露を受ける機会があることが示された。冬季のみではあるが、そのために２４時間の個人曝露磁界レベルが 0.4μＴを超える場合のあることも示された。なお、電気カーペットの直近では磁界レベルは 10 μＴ以上の極端に高い値を示すが、そうした値は子供がその上に座っているか、寝ているかなどの状況下に限られると予想される。個人磁界曝露変動パターンをみても、極端に高い磁界レベルの継続時間は短いものが多く、また、利用者でもそうした極端な高値を示していない者も多い。なお、本調査の対象児は５～１０才の概ね小学校の生徒である。先のリスクを示している小児八血病の疫学調査ではこれ以下と以上の年齢群が含まれていた。とくに、電気カーペットの上で過ごすことの多いと予想される乳幼児における磁界曝露評価がさらに必要なのかも知れない。

一方、同様に冬季に利用される電気毛布の場合には、身体に密着して利用するために高レベル磁界に長時間、連日繰り返し曝露される者が多いのではないだろうか（ただし、利用している製品による差異がありうるが、本調査での利用者は１名であり、さらなる調査が必要である。）。

ここで、電気カーペットと同様なことが、直近では高い磁界レベルを示すことが別途報告されている「床暖房（電気ヒータ式）」についても想定される（本調査での利用者は４名であったが、現在利用者は急増している）。これらの暖房用の電気機器利用については国内でも地域による違いがあることから、磁界発生状況とともに利用頻度等に関するさらなる調査が必要と思われる。

２．その他の電気機器利用では、調査２の結果から、床上１ｍの平面の磁界は、ＴＶと加湿器を利用している場合に 0.4μT を超えるエリアが、場合によっては周辺１－２ｍの範囲に亘ることのあることが示された。ここで、ＴＶの利用は年間を通してであるが、

加湿器の利用は、上記の暖房用機器と同様、冬季（１１月頃～３月頃）に限られていた。なお、ＴＶの場合には、本調査で対象としている商用周波数を中心とする超低周波の磁界と同時に、周波数の高い信号波も発生させていることも考慮する必要があろう。いずれにしても、疫学調査で示唆されるこれらの電気機器利用のリスクと本調査でのほぼ限定された高レベル磁界エリアとの関連については、なお不明な点が多い。

３．「子供の寝室の磁界レベル」が 0.4μT 以上を示した２名は、個人曝露磁界レベルも 0.4μT 以上であった。この場合の主要な磁界は配電線から由来していることは、調査２の結果からも明らかであった。この場合の高曝露レベルは、電気カーペットなどが示す磁界レベルの最高値に比較して低レベルではあるが、一般に、この高磁界曝露は、屋内で行動をしている時間全体に亘り、また、年間を通して安定していると予想される。ただし、電力消費量の変化やそれらの電力規格の変更などに伴う若干の季節変動や経年的な変動を反映することはありうるが、前者の可能性は比較的低いことがこれまでの筆者らの一連の調査結果から示唆されている。また、英国のこの点に関する調査結果では、電力設備からの磁界レベルは夏期より冬季に４０％程度高い傾向があるとされているが、恐らく地域による暖房と冷房の利用量などの違いによって多少とも地域差があると思われる。

４．一方、経年変化の可能性については、本調査でも、0.4μT 以上を示した２例は３～４年前の前回の測定ではやや低かったものがレベル上昇しているものであり、配電線の電力利用が増加しているか、規格が変更されたことなど電力設備側の要因によると推定される。

５．ところで、上記４の事例は配電線由来の高レベル磁界に関するものである。本調査には高圧送電線周辺で高レベルの事例は、頻度が小さいために含まれていなかった。今後、高圧送電線周辺地域に特化した本調査のような詳細な測定調査がさらに必要であろう。たとえば、住居や学校が高圧送電線からの距離が異なる集団についての個人曝露の比較調査などが考えられる。

６．行動空間別の磁界環境のうち、交通機関等に由来する磁界については、本調査では交通機関利用者が少なく、検討できなかった。電車地下鉄利用による個人曝露磁界レベル測定と評価もさらなる課題として残されている。なお、この場合、都市とそれ以外の違いが大きいことが予想される。

７．最後に、今回の測定調査で利用した携帯型測定器は、これまで国際的にも疫学調査等に広く用いられてきているものであるが、小児や乳児の個人曝露磁界レベル測定にとってやや大きいために、２４時間常時身につけていることは困難である。とくに、睡

眠中や学校で活動中などは直接曝露を測定することができていない。さらに個人曝露調査をより高度化するには、入浴中などを除き、たとえば、睡眠中でも昼間の活動中でも常時身体に装着できるような小型軽量化を含め測定器の改良が必要と思われる。

以上、本調査は、冬季の南関東に限定した測定調査であったが、いくつかの重要な点がまとめられた。超低周波の電磁界の健康リスクに関する研究はすでに２５年に亘るが、その曝露評価の困難さがなかなか結論が得られない大きな障壁となってきたことも否めない。小児白血病の疫学調査の多くで「子供の寝室の磁界レベル」が用いられてきた理由の１つは、今回再確認したように、それが高レベルの場合には曝露レベルも高い確率が相当高いと言えるであろう。一方、屋内で発生する各種電気機器利用による磁界によって曝露レベルが極端に高くなることがあり、それらが独立して小児白血病のリスクになっていることも示唆されているが、今回の個人磁界曝露測定結果から検討するには、さらに対象時期、対象者の属性（とくに、年齢、高圧送電線との関係や地域)、測定方法の改良などを含め、なお多くの課題が残されている。

3.. 国際動向

3.1.文献調査

3.1.1. 超低周波電磁界

「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査（2003)」の結果について

研究代表者：清水英佑（東京慈恵会医科大学　環境保健医学講座）
研究協力者：縣　俊彦（同上）
佐野浩斎（同上）
松平透（同上）
西岡真樹子（同上）
宮越雄一（同上）
鈴木勇司（同上）

目　次

1．はじめに----------3
2．方法----------3
3．全白血病および全脳腫瘍について----------3
3．1 全白血病についての研究----------4
3．2 全脳腫瘍についての研究----------6
4．全白血病および全脳腫瘍以外の健康影響について----------7
4．1 乳がんについての研究----------8
4．2 その他の悪性疾患についての研究 ----------8
4．3 その他の健康影響についての研究 ----------10
5．IARC および ICNIRP による報告のまとめ ----------10
6．まとめ ----------11

1．はじめに

電磁界による健康影響について、2000 年度報告書「電磁界の健康影響に関わる文献的検討」（日本環境協会）により、疫学研究論文のレビューおよびメタアナリシスを行った結果がまとめられている。また、1999～2001 年に報告された疫学研究及びレビューについては 2001 年度報告書「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査」（日本環境協会）にまとめられており、2002 年度の文献調査研究では、それらの内容をふまえ、2001～2002 年に報告された疫学研究及びレビューの内容を検討し、現段階における超低周波（商用周波数中心）電磁界曝露による健康影響の因果関係を中心に「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査 2002」の結果についてが、纏められている。

そこで、本年度の文献調査研究では、過去３年の結果を踏まえ、2002 年 7 月～2003 年に報告された疫学研究及びレビューの内容を検討し、現段階における超低周波（商用周波数中心）電磁界曝露による健康影響の因果関係についての判断に関する検討を実施した。

2. 方法

MEDLINE から､2002 年 7 月～2003 年に発表された､電磁界(EMF:Electro Magnetic Field)による健康影響に関する論文（1－18）を抽出した。抽出にあたっては、わが国からの本調査研究にあった疫学論文の発表はなく、また、多くの Peer Review がなされる一定レベルのジャーナルが英語での掲載を行っていることのほか、便宜上の理由により、英語により発表された論文のみを採用した。また 2001～2003 年に公表された、国際がん研究機関（IARC：International Agency for Research on Cancer）による電磁界の発がん性に関するモノグラフ（文献番号；19）と、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP：International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection）による電磁界と健康影響に関する疫学研究のレビュー（20）についても内容を検討したが、概要は 2002 年の報告書に記載があり、2003 年には大きな変更はなかったため、要約のみ記載した。

論文の着目疾患別内訳は、全白血病に関する 4 本（1,5, 6,17)、全脳腫瘍に関する 4 本（2, 7, 16,18)、 乳がんに関する 4 本（8,9,10,11)、その他の健康影響に関する 6 本（1、3,4, 12,13,14,15）であった（重複あり)。

論文の研究方法別内訳は、後ろ向きコホート研究が 2 本(1,2)、コホート研究 1 本(3)、コホート内症例対照研究 1 本(4)、症例対照研究が 11 本（5-15)、 横断研究が 1 本(16)、実験的研究が 1 本（17)、レビューが 1 本（18）であった。

これらの論文については、著者、発表年、タイトル、着目疾患、研究方法について一覧にした（表 1)。そして、掲載誌名・巻・号、研究目的、対象集団（対象論文)、電磁界の曝露評価、電磁界曝露との関連性、研究結果、および研究に対する評価・判断について検討しまとめた。

3. 全白血病および全脳腫瘍について

全白血病および全脳腫瘍に関する論文は 8 本抽出した。その研究方法別内訳では、後ろ向きコホート研究が 2 本（文献番号：1, 2)、症例対照研究が 3 本（5, 6, 7)、横断研究 1 本(16)、実験的研究 1 本（17)、レビューが 1 本（18）であった。以下に抽出した文献を列挙する。なお、以下の文中の引用文献番号は表 1 の記載に対応している。

1.Hakansson N, Floderus B, Gustavsson P, Johansen C, Olsen JH, Cancer incident and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. Occup Environ Med. 2002 Jul; 59(7): 481-6.

2.Navas-Acien A et al. Interactive effect of chemical substances and occuopational electromagnetic field exposure on the risk of gliomas and meningiomas in Swedish men. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 2002 Dec; 11(12):1678-83.

5.Skinner J, Mee TJ, Blackwell RP,Exposure to power frequency electric field and the risk of childhood cancer in the UK. Br J Cancer. 2002 Nov 18; 87(11): 1257-66.
6.Oppenheimer M, Preston-Martin S,Adult onset acute myelogenous leukemia and electromagnetic fields in Los Angeles County: bed-heating and occupational exposures. Bioelectromagnetics. 2002 Sep; 23(6): 411-5.
7.Li CY et al. Elevated residential exposure to power frequency magnetic field associated with greater average age at diagnosis for patients with brain tumors. Bioelectromagnetics. 2003 Apr;24(3):218-21.
16.Cook A et al. Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours. N Z Med J. 2003 Jun 6; 116(1175):U457.
17.Hone P, Edwards A, Possible associations between ELF electromagnetic fields, DNA damage response process and childhood leukaemia. Br J Cancer. 2003 Jun 16; 88(12): 1939-41.
18.Wrensch M et al. Epidemiology of primary brain tumors: current concepts and review of the literature. Neuro-oncol.2002 Oct; 4(4):278-99.

3.1 全白血病についての研究

○Hakansson N ら[1]は、スウェーデンにおける超低周波高レベルの電場（ELF-MF）に曝露されている労働者における癌発生率を調査した。高曝露されている対象数を増やすためと、交絡因子の影響を減らすために、生産過程において溶接抵抗を使用していると想定される産業から、1985 年から 1994 年の間に雇用された男性 537692 人、女性 180529 人のコホートを作成した。それらは最も曝露の低い群を基準として、ELF-MFで曝露される労働日の平均から 4 つの群に分けられた（Low、Medium、High、Very high)。癌発生率は、スウェーデン・キャンサー・レジストリーから得られたものを使用した。結果は、白血病も含め、全癌発生率を比較してみると男性ではどの曝露群も同等で、女性においてもほぼ似通ったものであった。高曝露群の男性では、腎、下垂体、肝・胆道系での腫瘍発生率（Relative risk）の増加がみられた（p=0.044、p=0.057、p=0.087)。白血病に関しては差が見られなかった。女性においては、曝露レベルにより頭部腫瘍（astrocytoma）のリスクが増加していた（p=0.004)。しかし、白血病に関しては差が見られなかった。また、男性の極度の高曝露群では大腸、結合織／筋の癌のリスク減少がみられた。これより結論として、男性における肝、腎、下垂体の癌の結果は先の研究結果と一致している。また、高度に曝露された男性に下垂体腫瘍が多いことなどより、ホルモンがELF-MFと癌との間の生物学的経路に関与しているという仮説を支持するものとして、今回の研究でさらに明示することができた。

○Skinner J ら[5]は、The United Kingdom Childhood Cancer Studyの電磁場測定に関するpopulation based case-control studyについて報告した。測定は、1992 年から 1996 年の間に 0 から 14 歳で悪性新生物と診断された子供 473 人と、年齢、性、地理的位置をマッチさせたコントロール 453 人の家庭において行われた。曝露の評価は子供の寝室と家族の

居間の測定ポイントで構成され、寝室場は、子供のベッドサイドでの 48 時間の連続記録にて調査された。用いられた曝露の測定基準は枕やベッドの中央の測定量の平均値とした。273 のケースと 276 のコントロールを十分に検証した。測定された電場の曝露が 20Vm(-1)以上の子供たちは、曝露が 10Vm(-1)未満の子供たちと比較して、オッズ比は急性リンパ芽球性白血病で 1.31（95%CI:0.68-2.54)、すべての白血病で 1.32（95%CI:0.73-2.39)、中枢神経系癌で 2.12（95%CI:0.78-5.78)、(情報の）得られたすべての悪性腫瘍では 1.26（95%CI:0.77-2.07）であった。また、無効例を除いた 426 のケースと 419 のコントロールで比較した場合でも対応するオッズ比は、急性リンパ芽球性白血病で 0.86（95%CI:0.49-1.51)、すべての白血病で 0.93（95%CI:0.56-1.54)、中枢神経系癌で 1.43（95%CI:0.68-3.02)、すべての悪性腫瘍で 0.93（95%CI:0.59-1.35）であった。連続変数としてモデル化された曝露によって、10Vm(-1)における主な測定基準でのオッズ比の増加は、すべての疾患分野において近似しており、明らかに 1 つが異なるというものではなかった。

○Oppenheimer Mら[6]は、Los Angels County Cancer Surveillance Program(CSP)に登録されている急性骨髄性白血病(AML)患者を対象に、電磁場の高曝露と想定されている電気毛布、電気による熱ウオーターベッドの使用や、極度の低周波電磁場（EMF）に関わる職業などに関し、ケース・コントロール研究を行った。対象は、英語またはスペイン語を話し、診断時 30 から 69 歳の、黒人あるいは白人(ラテンを含む)で、ここ 15 年間米国に在住している人とした。CSPに登録している適格者は 726 人であったが、研究参加者は 57％の 412 人であった。これに生年月日、人種、性別をマッチさせたコントロールとしての参加者はその 55％であった。質問はインタビュー形式で行われ、本人が不可能な場合は代理人にて行った。結果として、電気毛布、ウオーターベッド、職業などで有意差は認められなかった。この研究は、populationベースの研究であるが、ケースとコントロールの参加率がかなり低いため、選択バイアスの存在する可能性があり、コントロールに関してもEMF曝露におけるpopulationを代表するものとは言い難く、EMF曝露とAMLの予後との関連は不明であり、AMLに関するリスクファクターを確立することは出来なかった。

○Hone Pら[17]は、超低周波（ELF）の電磁場（EMF）とDNA傷害の反応の過程と幼児期白血病の起こりうる関連性について研究を行った。疫学的にはELF-EMF曝露と幼児期白血病との間に関連性がみられているが、通常の自然現象や生物学的原理からは疑わしいとされている。異数性を持つ細胞系統の研究ではELF-EMFが、電離放射線のような遺伝子毒性因子としてDNAを傷つけることで白血病誘発を引き起こすかもしれないという仮説が挙がっている。そこで彼らはヒトリンパ球において、２つの動原体を持つ染色体を誘導するγ線を用いてこの仮説を研究した。インフォームドコンセントを得た 46 歳の健康な女性から血液採取を行い、そのほとんどに 2Gyのγ線を照射した。その後、50Hzで 0.23、0.47、0.7mTのELFに 12 時間曝露した後、照射の有無、曝露の有無により検体を分けて観察した。その結果、0.23mTにおいて、ELF曝露と非曝露で有意差が存在した（p=0.012）が、それ以外では認められなかった。この結果よりELF単独では染色体DNAに直接的には傷害を与えないとする見方が優勢となった。結論として、この統計的に確固とし、実験に基づいた研究は、比較的高いレ

ベルの環境中のELFが造血細胞の染色体の障害という不安を介し、過度の幼児期白血病と関連しているとされる機械論的仮説に対して不支持であることを証明した。

3.2 全脳腫瘍について研究

○Cook A. ら[2]は、ニュージーランドにおいて、1987 年に携帯電話が導入されて以来、頭部や頚部の悪性疾患の発生率が変化しているかを調査した。携帯電話による放射線量の程度を、高度、中等度、低度に分類し、腫瘍の発生率を比較検討した。その結果、1986 年から 1998 年にかけての、頭部や頚部に生じる悪性腫瘍の発生率は、携帯電話による放射線量を、高度、中等度、低度、と程度別に層別検討しても、男女別に検討しても、有意な変化を認めなかった。頭部および頚部に生じる悪性腫瘍の発生率はニュージーランドに携帯電話が導入されて以降、変化がなかったと報告した。

○Li CYら[7]は、腫瘍の診断時年齢が電磁場環境における曝露に関連しているかを調査するために、高周波の電磁場環境 0.2μT以上と通常の電磁場環境 0.2μT未満の、それぞれの環境における脳腫瘍の平均診断時年齢を比較した。その結果は、高周波の電磁場環境では 50.6 歳、通常の電磁場環境では 44.8 歳と、通常の電磁場環境における脳腫瘍の症例（506 例）に比べて、高周波の電磁場環境における脳腫瘍症例（71 例）では、その診断時の平均発症年齢が、約６歳有意に（P=0.01）高かった。また、男女別に層別分析を行ったところ、男性では、通常の電磁場環境における脳腫瘍の平均診断時年齢が、45.2 歳であることに比べて、高周波の電磁場環境における脳腫瘍の平均診断時年齢は 52.1 歳と、高周波の電磁場環境における脳腫瘍症例の診断時年齢は、通常の電磁場環境における脳腫瘍の診断時年齢に比べて、有意に（P=0.01）高い値を示した。また、女性では、通常の電磁場環境における脳腫瘍症例の平均診断時年齢は 44.3 歳に比べ、高周波の電磁場環境における脳腫瘍症例の平均診断時年齢は 48.2 歳と、有意差を認めなかった。

○Wrensch M.ら[16]は、脳腫瘍の疫学に関する知見をまとめている。電磁場に関しては、携帯電話による影響と、高周波の電磁場の健康に対する影響について報告している。携帯電話に関しては、現在、参照されている多くの報告は、今日のように携帯電話がデジタル電話である時代に比べて、アナログ携帯電話が優勢であった時代に行われたものであると述べている。最近の文献は、携帯電話の使用と脳腫瘍との明らかな関連を認めていないというが、携帯電話の使用が次第に一般的なものになっている今日、この領域の研究を続けていくことは重要であると結んでいる。また、高周波の電磁場の健康に対する影響をまとめた報告では、その居住地が高周波の電磁場で曝露した子供に脳腫瘍発症のリスクが増加していることを示したが、最近の報告では、母親の電磁場の曝露と子供における脳腫瘍発症のリスクとの間に関連は認めなかった、と報告している。しかしながら、電磁場が脳腫瘍のリスクに影響していないことを証明できないうえに、高周波の電磁場と脳腫瘍との関連がまったくないことの証明は、方法論的にも、おそらく不可能と考えられるほど難しいことである、とも結んでいる。

○Navas-Acien A.ら[18]は、スウェーデンの男性労働者における脳腫瘍発症のリスクに関

して、職業別の電磁場曝露と化学物質との相互関係が及ぼす影響を検討した。1971 年から 1989 年の 19 年間に追跡された脳腫瘍のうち、特に神経膠腫に対して詳細に検討している。極端な低周波の電磁場環境をさらに細分化したものと、９種類の化学物質の曝露を用いて、その相互関係が及ぼす影響を検討した。2859 症例の神経膠腫の検討では、神経膠腫の増加するリスクは、極端な低周波の電磁場環境の中でも、平均値 0.13μT以下の電磁場環境においてのリスクは、0.13－0.20μTの電磁場環境と 0.20－0.30μTの電磁場環境においてのリスクとでは、有意差を認めていたが、0.30μT以上の電磁場環境とでは、有意差を認めなかった。職業別の電磁場曝露と化学物質との相互関係が及ぼす影響の検討では、石油製造の影響は、電磁場環境と独立していたという結果をみたが、溶媒や鉛や農薬の曝露は、極端な低周波の電磁場環境では、中等度や高度の電磁場環境に曝露していた労働者においてのみが、神経膠腫の増加するリスクと関連した。神経膠腫発生の原因において、極端な低周波の電磁場環境は、特定の化学物質の影響を強くするようである。さらに、この研究から判明した、主要な知見は、癌を起因するといわれている化学物質が存在しない状態においては、極端な低周波の電磁場環境は、神経膠腫の増加するリスクに関して影響を示さなかったことである。

4.全白血病および全脳腫瘍以外の健康影響について

全白血病および全脳腫瘍以外の健康影響に関する文献は 10 本抽出した。その研究方法別内訳（文献番号）では、コホート研究 1 本（3)、コホ-ト内症例対照研究 1 本(4)、症例対照研究 8 本（8-15)。以下抽出した文献を列挙する。なお、以下本文中の引用文献番号は表 1 の記載に対応している。

3.Maria Feychting et a.; Occupational Magnetic Field Exposure and Neurodegenerative Disease. Epidemiology 2003; 14:413-9.

4.Tynes T et al, Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and malignant melanoma: a population based study. J Occup Environ Med. 2003 May;60(5):343-7.

8.Kangmin Zhu et al. Use of Electric Bedding Devices and Risk of Breast Cancer in African-American Women. American Journal of Epidemiology 2003; 158:798-806.

9.France Labreche et al. Occupational Exposures to Extremely Low Frequency Magnetic Fields and Postmenopausal Breast Cancer. American Journal of Industrial Medicine 2003:44:643-52.

10.Stephanie J et al. Residential Magnetic Field Exposure and Breast Cancer Risk:A Nested Case-Contral Study from a Multiethnic Cohort in Los Angeles Country,California. American Journal of Epidemiology 2003; 158:969-80

11.E.R.Schoenfeld et.al. Electromagnetic Fields and Breast Cancer on Long Island : A Case-Control Study. American Journal of Epidemiology 2003; 158:47-58

12.Warren HG et al. Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve

tumor. Laryngoscope. 2003 Apr;113(4):663-7.
13.Baumgardt-Elms C et al. Testicular cancer and electromagnetic fields (EMF) in the workplace: results of a population-based case-control study in Germany. Cancer Causes Control. 2002 Dec;13(10):895-902
14.Karl Gerhard Blaasaas et al.; Residence Nera Power Lines and the Risk of Birth Defects. Epidemiology 2003 ;14: 95-98

15.Edwin van Wijngaarden ; An Exploratory Investigation of Suicide and Occupational Exposure. J Occup Enviton Med. 2003;45:96-101

4.1 乳癌についての研究

○　Kangmin Zhuら[8]は、女性の乳がんと家電製品からの磁界曝露との関連性について 304 名の症例と 305 名の対照で検討を行った。家電製品は、電気毛布や温熱ウオーターベットなどの利用状況を調査し、乳がんのリスクはこれら電動式寝台装置の利用頻度や利用年数及び睡眠中の利用時間に関連していると述べている。電動式寝台装置を利用している女性の利用していない女性に対する乳がんの相対危険度は 1.4(95%信頼区間、0.9～2.2)であり、オッズ比は使用年数に従い上昇した。１０年以上電動式寝台装置を利用している女性の利用していない女性に対する相対危険度は 6.3(95%信頼区間、1.5-26.5)に上昇し、電動式寝台装置の長期の利用や旧式の装置を利用することは乳がんのリスクを高めると述べている。

○France Labrecheら[9]は、職業性低周波磁場曝露と閉経後の女性乳がんの関連性について 608 名の症例と 667 例のコントロール群にて症例対照研究を行った。職業性低磁場曝露については、過去の職業歴を調査し産業衛生学的の見地から予測される磁場曝露を 4 段階に分類した。その中で、乳がんの診断がつくまで中～高磁場強度の低周波職業性曝露において、オッズ比は 1.13(95%信頼区間、0.94-1.35)であり、35 歳前になると 1.40(95%信頼区間、0.98-2.02)と上昇した。さらに統計学的に有意であったのはプロゲステロン陽性の腫瘍をもった 35 歳前の症例で危険度は 1.56(95%信頼区間、1.02-2.39)であった。このように、閉経後の女性における職業性低磁場曝露は乳がんの危険因子をなりうるとしている。そしてエストロゲン陽性とプロゲステロン受容体は、特に、35 歳前の女性において低周波磁場曝露後の乳がんの発生をうながす可能性になるとしている。

○　Stephanie Jら[10]は、以下のような症例対照研究を行なった。743 例の乳がんと診断された症例と乳がんでない 699 例を対照に、10 年間にわたり住宅内全ての曝露測定を行い、さらに、347 例の乳がんと診断された症例と 286 例を対照に寝室における曝露測定を行った。その結果、低い磁界のワイヤーコードの形状に対して高い磁界のワイヤーコードの形状における相対危険度はオッズ比 0.76(95%信頼区間、0.49-1.18)であり、住居におけるワイヤーコードの形状と乳がんの関連は認められないと結論づけている。

○　E.R.Schoenfeldら[11]も、磁界と乳がんの長期研究（EBCLIS）において、住居の磁界測定結果、ワイヤーコードによる分類などを調査し、乳がんと住宅における磁界曝露は

関連性がないとしている。しかしながらEBCLISにおける症例や対照症例は年齢相関させており、多変量解析では、年齢と各個人の収入や地域性などその他の様々な要因を考慮した。そのため、検討にはさらなる大きな母集団が必要と述べている。

4.2 その他の悪性疾患についての研究

○Tynes Tら[4]は、高電圧送電線からの電磁場曝露により、16 歳以上の成人に皮膚の悪性黒色腫発生率が増加するかという仮説を検証した。1980 年あるいは 1986 年から 1996 年までのある１年間に、高電圧用送電線の周囲の住宅に住んでいた 16 歳以上の対象についてコホート内症例対照研究(nested case-control study)を行った。症例は、1980-96 年に診断され、ノルウェーの癌登録されているものを用い、対照群は、誕生年、性別、地方自治体、およびコホートに入る最初の年を一致させた。1967 年 1 月 1 日から診断までの曝露量をフォローアップする為に、送電線由来の時間加重平均曝露量を、住居から送電線までの距離、送電線の配置、電流加重を考慮に入れてコンピュータ・プログラムを用いて計算した。曝露は、0.05μT以下、0.05-0.2μTおよび 0.2 μT以上に分けて分析した。居住地域での磁場曝露の分析によると、女性のオッズ比は 2.01(95%信頼区間 1.09-3.69)および 2.68(95%信頼区間 1.43-5.04)であり、男性のオッズ比は 1.70(95%信頼区間 0.96-3.01)および 1.37(95%信頼区間 0.77-2.44)であった。職業曝露については皮膚の悪性黒色腫との有意な関連が認められず、居住地域および職業曝露の同時分析においても相加的効果を示さなかった。しかし、生物学的仮説の不足、および日射と悪性黒色腫の間に強い関連があることが知られているために、確固とした結論を引き出すことができず、さらなる研究が必要である。

○Warren HGら[12]は、携帯電話使用時のマイクロ波曝露は頭蓋内腫瘍の発生に関連してきたとういう報告をもとに、側頭骨内顔面神経神経(IFN)は、頭蓋内の組織より携帯電話輻射線を高いレベルで曝露され、携帯電話使用がIFN腫瘍のリスク増加に関係しているかどうかを調べた。三次医療紹介センターで電話調査による症例対照研究を行った。IFN腫瘍患者(n=18)は、聴神経腫(n=51)、鼻副鼻腔炎(n=72)および発声障害または胃食道の逆流症(n=69)を治療している患者とケースマッチさせた。顔面神経腫瘍形成のリスクは、携帯電話使用および他の危険要因の程度によって比較した。IFN腫瘍発生のオッズ比は、携帯使用歴のある者で 0.6(95%信頼区間、0.2-1.9)、携帯電話を１週間に１回以上使用する者で 0.4(95%信頼区間、0.1-2.1)であった。IFN腫物発生リスク増加に係わる要因は何も認められなかった。

通常の携帯電話使用は、IFN 腫瘍発生のより高いリスクに関係しているようには思われなかった。携帯電話使用が短期間に広がったということは、IFN 腫瘍発生リスクとして明確に排除することはできない。

○Baumgardt-Elms ら[13]は、職域における電磁場(EMF)と精巣癌との関係を住民人口集団に基づいた症例対照研究(population-based case-control study)によって調査した。1995 年から 1997 年の間の症例(n=269)を集めた。合計 797 例の対照を、年齢と居住地域をマッチングさせて住民登録から任意に抽出した。EMF曝露は、閉じられた質問(closed question)

を用いて、標準化された直接のインタビューにより 5 つのカテゴリーに評価した。各曝露カテゴリーにおいて、オッズ比(OR)を、年齢と居住地域で層化し、またより複雑なモデルでは条件付ロジスティックス回帰分析を用いて曝露期間と曝露距離を重み付けして計算した。サブグループ分析を、精上皮腫と非精上皮腫について、および肉体労働者と事務系労働者について行った。さらに、潜在的なレーダーによる曝露は、自由記載(free text)を含むすべての利用可能な情報に基づき、技師個々で評価した。以下の職域近傍でかつて働いた経験がある者で、精巣癌のリスクが高くなるということはなかった：レーダー装置(OR=1.0; 95%信頼区間=0.60-1.75)；無線発信装置(OR=0.9; 95%信頼区間=0.60-1.24)；電気機器(OR=1.0; 95%信頼区間=0.72-1.33)；高圧電線あるいは高電圧用の電気電送装置(OR=0.7; 95%信頼区間=0.38-1.18)；あるいはディスプレー装置あるいは複雑な電気的環境(OR=0.9; 95%信頼区間=0.67-1.21)。重み付けした曝露およびサブグループ分析の結果は本質的に同じであった。技師で評価したレーダー由来曝露における、ORは 0.4(95%信頼区間=0.13-1.16)であった。本研究によると、職域でのEMF曝露は、精巣癌関連リスク要因ではないようである。

4.3 その他の健康影響についての研究

○Maria Feychting ら[3]は、スウェーデン人労働者 4,812,646 名を対象としたコホート研究を行い、職場性超低周波電磁界曝露と神経変性疾患との関連性を調べた。アルツハイマー病の相対危険度は 2.3 (95%信頼区間 1.6-3.3、0.5μT以上曝露) と、リスクの増加が認められた。筋萎縮性側索硬化症は有意な関連性が見られなかったが、電気電子関係の職種（溶接工、ラジオ・テレビ組立修理、電話配線修理、レコード、音響および照明関係）では相対危険度は 1.4 (95%信頼区間 1.1-1.9) であった。血管性痴呆、初老期痴呆、前初老期痴呆、パーキンソン病、多発性硬化症および癲癇は、電磁界曝露との関連性は認められなかった。この研究では、その職業への従事期間を調査していないことや累積曝露量が算出できないことなどの問題点がある。

○Karl Gerhard Blaasaas ら[14]は、1980～1997 年の期間に出生したノルウェー人 161,844 名を対象として、電線付近の住民と先天奇形のリスクの関連性を調べた。住居・電線間の距離と磁場強度を測定し、先天奇形を 24 のカテゴリーに分類し、先天奇形のリスクを曝露レベルで比較し、人口統計学的な変数で調整した。電線付近の住民（0.1μT以上の 50Hz 磁場曝露）では、心奇形のオッズ比が 0.5 (95%信頼区間 0.3-0.9)、呼吸器系奇形のオッズ比が 0.4 (95%信頼区間 0.2-0.9) と最も低く、リスクの減少が認められた。食道奇形のオッズ比は 2.5 (95%信頼区間 1.0-5.9) と最も高く、リスクの増加が認められた。しかし、この研究では心奇形は生後しばらくしてから診断されることもあるので、少なく報告されている可能性もある。また妊娠中に居住地変更の情報が入手しにくいという問題点もある。

○Edwin van Wijngaarden[15] は、自殺と職業性電磁場曝露との関連を調べた。11,707 名の自殺者を症例とし、他の原因（悪性新生物、人格障害、脳神経系疾患および事故など）で死亡した者 132,771 名を対照とし、症例対照研究を行った。電磁場曝露と自殺には関連

性が認められ、20-35 歳群でオッズ比が 1.5（95%信頼区間 1.2-1.9）と最も高く、リスクの増加が認められた。

5. ＩARC および ICNIRP による報告のまとめ

IARC では、2002 年に静電界、静磁界、および超低周波電磁界による発がん性についての見解をモノグラフとしてまとめて公表した（19)。また ICNIRP では 2001 年に、疫学常任委員会によるレビューを「電磁界による健康影響に関する疫学研究のレビュー」として論文発表した（20)。これらに関しては、2002 年に報告されている。

主な内容は 2001 年 IARC が、低周波磁界は発がん性２B（可能性があるが低い、可能性がゼロではない）と判定したことなどである。この判定は、動物実験では確認されていないが、疫学調査結果で、0,4μT 以上で、小児癌増加という結果によって判定を行った。

また、IARC の発がん性判定を受けて、ICNIRP も見解を公表した。0.4μT 以上の低周波磁界で小児癌増加という論拠は、まだ ICNIRP のガイドラインを改版する科学的な論拠とはみなしえない、ということである。

ICNIRP の疫学研究評価グループは論文で発表された「0.4μT 以上の低周波磁界の曝露で小児癌増加は偶然に起こったとは言いがたい。しかし、この研究は選択バイアスの可能性がある」と、条件付き承認の形を取っている。

総合評価としては超低周波磁界曝露により、小児白血病などの、発癌の可能性がある（グループＢ）と結論している。

また、IARC の作業部会は、ラジオ／TV 送信タワー、携帯電話、レーダー等から生じる無線周波電磁界の健康影響は評価していない。これらの曝露と健康影響の関連は、現在進行中の研究が公表された後（2005 年）、IARC のモノグラフによってレビューされるであろうとしている。

19.IARC Monographs on tbe Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Vb1 80；Non-Ionizing Radiation, Partl：Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields

20.Ahhlbom IC et al；ICNIRP Standing Committee on Epidemiology. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. Environ Health Perspect 2001 Dec；109 Supp16：911－33

6. まとめ

今回レビューした文献は、これまでにまとめた文献レビュー以降に、新たに報告されたものを主体とした。報告内容は前年度までの報告書と同様に、電磁界における健康影響があるとする論文と、否定的な論文の双方があった。IARC より小児白血病にしては超低周波磁界との関連性について限定された根拠があるとされたものの今回の実験での報告でも否定的な結果が得られた。また、成人の白血病や全脳腫瘍を含む大部分のその他の健康影響については明白な証拠があると示されず、また健康影響はないとする明確な証拠もないと

いうのが現状である。今回、まとめたものは表１をみればわかるごとく、ほとんどが、症例対照研究、後ろ向きコホート研究など観察研究である。全白血病および全脳腫瘍と電磁界曝露との関連性ついては、これまでに疫学研究の精度が改善してきているが、曝露評価や選択バイアスの存在を克服するため今後の研究では　曝露評価や選択バイアスに関して特定の仮説を調査するようなデザインを行うことが必要と思われる。

表 1. 検討対象論文一覧

文献番号	著者	発表年	タイトル	着目疾患	研究方法
1	Hakansson N et al	2002	Cancer incident and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden	全癌	後ろ向きコホート研究
2	Navas-Acien A et al	2002	Interactive effect of chemical substances and occuopational electromagnetic field exposure on the risk of gliomas and meningiomas in Swedish men.	神経膠腫，髄膜腫	後ろ向きコホート研究
3	Maria Feychting et al	2003	Occupational Magnetic Field Exposure and Neurodegenerative Disease.	アルツハイマー病、、多発性硬化症および癲癇など	コホート研究
4	Tynes T　et al	2003	Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and malignant melanoma: a population based study	(皮膚の)悪性黒色腫	コホート内症例対照研究
5	Skinner J et al	2002	Exposure to power frequency electric field and the risk of childhood cancer in the UK、	小児悪性新生物	症例対照研究
6	Oppenheimer M et al	2002	Adult onset acute myelogenous leukemia and electromagnetic fields in Los Angeles County: bed-heating and occupational	急性骨髄性白血病	症例対照研究

			exposures		
7	Li CY et al	2003	Elevated residential exposure to power frequency magnetic field associated with greater average age at diagnosis for patients with brain tumors.	脳腫瘍	症例対照研究
8	Kangmin Zhu et al	2003	Use of Electric Bedding Devices and Risk of Breast Cancer in African-American Women	乳がん	症例対照研究
9	France Labreche et al	2003	Occupational Exposures to Extremely Low Frequency Magnetic Fields and Postmenopausal Breast Cancer	乳がん	症例対照研究
10	Stephanie J et al	2003	Residential Magnetic Field Exposure and Breast Cancer Risk:A Nested Case-Contral Study from a Multiethnic Cohort in Los Angeles Country,California	乳がん	症例対照研究
11	E.R.Schoenfeld et.al	2003	Electromagnetic Fields and Breast Cancer on Long Island：A Case-Control Study	乳がん	症例対照研究
12	Warren Hget al.	2003	Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor	(側頭骨内顔面神経)神経腫瘍	症例対照研究
13	Baumgardt-Elms C et al.	2003	Testicular cancer and electromagnetic fields (EMF) in the workplace: results of a population-based case-control study in Germany	精巣癌	症例対照研究
14	Karl Gerhard Blaasaas et al	2003	Residence Nera Power Lines and the Risk of Birth Defects.	先天性異常（心奇形、呼吸器系奇形、食道	症例対照研究

				奇形等)	
15	Edwin van Wijngaarden	2003	An Exploratory Investigation of Suicide and Occupational Exposure.	自殺	症例対照研究
16	Cook A et al	2003	Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours.	頭頚部腫瘍	横断研究
17	Hone P et al	2003	Possible associations between ELF electromagnetic fields, DNA damage response process and childhood leukaemia	幼児期白血病	実験的研究
18	Wrensch M et al	2002	Epidemiology of primary brain tumors: current concepts and review of the literature.	原発性脳腫瘍	レビュー

２－１－２:高周波電磁界

高周波電磁界の生体影響

多氣　昌生

１．はじめに

高周波電磁界の生体影響については，過去の調査でも継続的に取り上げており，本調査では重複する部分は割愛または簡潔に述べるにとどめ，2003 年以降の新しい研究動向を中心に報告する．

2003 年秋に，Bioelectromagnetics誌は，「ヒト健康への高周波電磁界の影響に関する多面的検討」と題し，200 ページ以上に及ぶ包括的なレビューを刊行した(Bioelectromagnetics, 24, Supplement 6, 2003)．このレビューには，主に 90 年代以降の高周波電磁界の生体影響研究が幅広く網羅されている．本調査では、最近の研究を中心に概要をとりまとめる一方、これまでの研究動向を補完するために，このレビューに掲載された総括表を一部参照して、過去の研究の紹介に代えている．

２．疫学研究

2.1 携帯電話端末

昨年度の報告で，Hardell ら(Hardell 1999, Hardell 2002a)は，携帯電話端末の使用するときの持ち手側の脳に腫瘍ができやすいことを示唆する疫学調査結果を報告したこと，Ahlbom ら(1999)はこれが想起バイアスによるものであろうと批判していることを報告した．スェーデン放射線防護庁によるレビュー(Boice,2002)も，Hardell らの研究を批判して，次のように述べている．「(862 名の）ケースの内の生存者（233 名）のみにインタビューしており，500 名以上のケースが除外されている．選択バイアスと情報バイアスが含まれていることが明らかであり，この研究結果が因果関係を示しているとはいえない．アナログ携帯電話に比べて 100 分の 1 以下の電力で使われているコードレス電話（注：日本の PHS に相当）でもリスクがあるということは，バイアスの存在を示すものである．携帯電話使用側で腫瘍のリスクが増加し，反対側で減少しているという結果は，報告バイアスがあることを示すものである．」

2002 年までの Hardell らの研究を含むレビューが Elwood(2003)によって示されている．表 2.1 に Elwood による過去の研究の総括表を示す．Hardell らの報告に対しては、ここでの評価も否定的である．

2003 年に Hardell はさらに２つの論文を著した．Hardell(2003a)では，アナログ携帯電話の使用では脳腫瘍のリスクが増加する(OR=1.3, 95%CI=1.04-1.06)のに対し，ディジタル携帯電話とコードレス電話ではリスクの増加は認められない，腫瘍と携帯電話の使用の同側性はアナログ携帯電話で OR=1.7，95%CI=1.2 － 2.3，ディジタル携帯電話で

OR=1.3,95%CI=1.02 – 1.8, コードレス電話で OR=1.2, 95%CI=0.9 – 1.6、であると報告し，携帯電話の使用がリスクを増加させるという指摘を繰り返した．また，Hardell(2003b)ではアナログ携帯電話の使用によって、前庭シュワノーマ（聴神経腫瘍と同じ疾病と思われる）のリスクが増加すると報告している．これらの一連の論文は，携帯電話機の使用と悪性脳腫瘍，良性脳腫瘍，聴神経腫瘍の発生に関連性があると主張しているが，同一のデータに基づいて解析しているものであり、スェーデン放射線防護局によるレビューや、Ahlbom らによる批判に回答していない．

携帯電話端末の使用と頭頸部の腫瘍との関連性について，国際がん研究機関（IARC）が国際共同研究 INTERPHONE を実施している．13 カ国が参加する国際共同研究で，2004 年から 2005 年にかけて，各国のデータを集めて解析される予定である．2003 年末に国際共同研究としてのデータ収集は打ち切られ，まもなく各国のデータ提出が完了される．

このプロジェクトでは，国際共同研究と並行して，各国の国内研究も実施されている．国内研究のデータ収集プロセスは国際共同研究と共通に行われるが，それぞれの研究グループが独自の目的や方法を加味したり、追加データを収集している例もある。

このプロジェクトによる国内研究の最初の研究報告が 2004 年初頭に公表された(Christensen,2004)．この研究はデンマークで行われたものであり，携帯電話の使用と聴神経腫瘍の関連性を調査している．ケース数は 106 で、212 の整合したコントロールとの比較が行われた．聴神経腫瘍の携帯電話の使用による相対リスクは 0.90（95%信頼区間 0.51－1.57）でリスクの上昇は見られなかった．

文献(2.1)

L Hardell, A Näsman et al(1999). Use of cellular telephones and the risk of brain tumors: a case-control study. Int. J. Oncol. 15:113-116.

L Hardell, A Hallquist et al(2002a). Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumors. Eur J Cancer Prev 11:377-386.

Ahlbom A, Feychting M. (1999) . Re: Use of cellular phones and the risk of brain tumours: a case-control study [letter]. mt J Oncol 15:1045-1047.

JD Boice JD and JK McLaughlin (2002). Epidemiological studies of cellular telephones and cancer risk -- A review. Stockholm, Swedish Radiation Protection Authority. On line at: http://www.ssi.se/ssi_rapporter/pdf/ssi_rapp_2002_16.pdf

L Hardell, KH Mild et al(2002b). Case-control study of the use of cellular and cordless phones and the risk of malignant brain tumours. Int J Rad Biol 78:931-936.

J.M. Elwood (2003). Epidemiological studies of radio frequency exposures and human cancer, Bioelectromagnetics, 24, S6, S63-S73.

L Hardell, KH Mild et al(2003a) Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. Int J Oncol 22:399-407,.

L Hardell, KH Mild et al(2003b). Vestibular schwannoma, tinnitus and cellular telephones. Neuroepidemiology 22:124-129.

HC Christensen, J Schüz et al(2004). Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. Am J Epidemiol 159:277-283.

2.2 携帯電話基地局・放送局

1996 年以来，Hocking はオーストラリアのシドニー近郊のテレビ等周辺居住者に白血病の発症が多いことを地域相関研究により示唆してきた．これに対し，McKenzie は，同じ地域を再調査し, そのような傾向を否定した. また, Dolk は英国の Sutton Coldfield の FM/TV 放送塔から 2km 以内の地域で, 成人の白血病と皮膚がんの発症が多いことを見いだしたが, 英国全土の 20 の同種の放送施設に調査対象を拡大したところ，このような差異は見られなかった．これらの研究については，過年度の本調査でも報告した．

その後の報告として, 2002 年に Michelozzi はバチカン放送所付近の居住者に対する地域相関研究を行った．この放送所には回転アンテナ 3 基，固定アンテナ 28 基が設置され，放射電力はさまざまで，5kW - 600kW の範囲である．また，周波数は短波放送が 4.005kHz – 21.850kHz，中波放送が 527kHz から 1611kHz である．放送所から 10km の範囲で調査を行い，14 歳以上の白血病患者の発病率をイタリアの標準発病率と比較した．ケースは 40 名であった．その結果，6km までの距離の居住者では標準発病率に対して白血病の発病率が 2.2 倍(95%信頼区間 1.0－4.1)であり，増加の傾向が示唆された．さらに研究が必要であると主張しているが，曝露評価がされておらず，ケース数も少ないなど，信頼性は低い．

文献(2.2)

Hocking B et al (1996). Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. Med J Austral 165:601-605.

McKenzie DR et al.(1998). Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney -- a second look. Aust New Zealand J Public Health 22:360-367.

H Dolk et al (1997a): Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain I. Sutton Coldfield Transmitter. Amer J Epidem 145:1-9.

H Dolk et al(1997b). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. Amer J Epidem 145:10-17.

P. Michelozzi, A. Capon, U. Kirchmayer, F. Forastiere, A. Biggeri (2002). Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Amer J Epidem 155:1096-1103.

３．ボランティア研究

3.1 認知タスク，心拍および血圧

ボランティアを使って神経生理学的影響を調べる研究は，1999 年に Preece(1999)らが携帯電話と類似の電波を側頭部に照射することにより，認知タスクの反応時間が早まることを報告して以来注目されてきた．注目された理由の一つは，Koivisto ら(2000)が類似の作用を報告したことである．また，Edelstyn(2002)が，携帯電話からの 900MHz の電波の照射によって注意テストのスコアが高まる，という同じ傾向の結果を報告している．これらの研究結果に対し、脳幹を起源とする交感神経の亢進によるものではないかとの考察があった．

Koivisto らの研究グループは実験条件の問題点を改善して再現実験を行った(Haarala,2003)．実験には先行の実験と同じ 902MHz の電波を用いた．改善点は，２つの研究施設でそれぞれ並行して実験すること，ダブルブラインド法を採用することである．結果は，それまでの反応時間の短縮は観察されず，再現しなかった．

心拍および血圧への影響について, Braune ら(2002)は GSM 方式の 35 分間の携帯電話使用により，心拍数のわずかな減少、血圧の 5 - 10mmHg の上昇を報告したが，その後の研究により、血圧の上昇などは実験条件によるアーチファクトであるとの結論を報告した。その後，Tahvanainen ら(2004)はさらにこの現象の追試験を行い，携帯電話の使用が血圧や心拍に急性の影響を与えないことを再確認した．

文献(3.1)

AW Preece, G Iwi et al (1999). Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. Int J Radiat Biol 75:447-456.

Koivisto M, Revonsuo R et al (2000). Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. Neuroreport 11:413-415.

N Edelstyn and A Oldershaw: (2002). The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. NeuroReport 13:119-121.

Christian Haarala, Linda Björnberg, Maria Ek, Matti Laine, Antti Revonsuo, Mika Koivisto, Heikki Hämäläinen (2003). Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study, Bioelectromagnetics, 24, 283-288.

S Braune, A Riedel et al (2002). Influence of a radiofrequency electromagnetic field on

cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. Radiat Res 158:352-356.

K Tahvanainen, J Niño et al (2004). Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate in humans. Bioelectromagnetics 25:73-83.

3.2 脳波および睡眠

脳波および睡眠への影響についても多くの研究がある．初期には実験動物の脳波への影響の研究が多かったが，最近はボランティア研究が多く行われている．D'Andrea(2003a)は，マイクロ波の神経系への影響に関するレビューの中で，脳波および睡眠への影響を表にまとめている（表 3.1）.

最近の研究報告は以下の通りである．Huber ら(2003)は，携帯電話の使用による睡眠及び脳波への影響が存在すると報告している．実験は２種類に分けられる．信号波形はいずれも 900MHz の GSM 方式の携帯電話を模擬した波形である．実験１では，被験者にできるだけ均一な電波を照射する．ベッドの陰に３つのダイポールアンテナをアレイ状に置くことで一様な曝露を実現する．脳の両半球平均の SAR は 0.16－0.89W/kg であった．被験者数は 24 人である．実験２では被験者の右または左に電話機を模擬したアンテナを置き，頭部の片側のみを照射する．このときの最大 SAR は曝露側で 1.55W/kg であった．実験の結果、いずれの実験でも偽曝露の対照群と比較して，曝露群では non-REM 睡眠時の脳波のスペクトルが 9－14Hz の範囲で増加した．また，睡眠時間が短くなり，心拍周期変動性に影響が見られた．これらの影響は脳の片側の曝露と，両側の曝露で同様であった．すなわち、側頭部の局所への曝露への影響ではないことが示唆された。

Kramarenko と Tan(2003)は，ボランティアの眼の付近に携帯電話の発する電波を集中させ，脳波への影響を調べた．実験の結果、照射後に脳波が変化した．開始後 10～15 秒後に，周波数スペクトルの中央値が上昇し，20～40 秒で徐波(2.5～6.0Hz)が見られた．この徐波は１秒程度持続し, 15～20 秒ごとに繰り返した. 携帯電話の電源を切ると徐波は消え，増加していた周波数スペクトルの中央値も 15～20 分で元に戻った．子供でも同じような影響が見られたが，徐波の振幅が大きく，周波数は低く(1.0～2.5Hz)，発生する時間が長くて間隔が短かった．このことから，携帯電話により異常な徐波が脳波に現れるとしている．但し，この研究は曝露条件が十分に統制されているとは思われず，再現性の確認が必要である．

D'Andrea による表 3.1 でも引用されているように，Krause ら(2000a)は，聴覚記憶タスク中に 8-10Hz の脳波に有意な増強が見られることを報告した. 彼らはこの結果について再検討を行った（Krause,2004）. 2000 年の報告ではダブルブラインド法を採用していなかったことから，今回の実験ではダブルブラインド法を採用した．その結果，前回の実験で見られた８つの有意な変化に対して、今回の実験ではすべて有意差が無くなり，この現象の再現性は否定された．Krause らは，この報告で脳波や記憶タスクに対する影響は変動しや

すく，再現も困難であると結論している．

文献(3.2)

J.A. D'Andrea, E.R. Adair, J.O. de Lorge (2003a). Behavioral and cognitive effects of microwave exposure, Bioelectromagnetics, 24, S6, S39-S62.

AV Kramarenko, U. Tan (2003). Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. Int J Neurosci. 2003 Jul;113(7):1007-19.

R Huber, J Schuderer et al (2003).Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. Bioelectromagnetics 24:262-276.

CM Krause, C Haarala et al (2004). Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: A double blind replication study. Bioelectromagnetics 25:33-40.

3.3 電磁波過敏症

オランダの TNO（応用科学研究機構）が 2003 年 9 月に携帯電話基地局からの電波による人体の主観的な反応についての調査を行い，その結果を報告した．この研究はオランダの経済省，環境省，厚生省による委託研究である．但し，研究機関による報告書の段階で公表されたものであり，査読を経た論文ではないので，本来はここで取り上げる対象ではない．しかし，日本を含めて世界各国に報道され，反響を呼んだので簡単に紹介する．

過敏症の症状を訴える被験者（グループ A）とそうでない被験者（グループ B），各 36 名に， 945MHz の GSM 方式の電波，1840MHz の GSM 方式の電波，2140MHz の UMTS 方式（第３世代の携帯電話システム）の電波を照射、または偽照射（被験者は照射されていると思っているが実際には電波が照射されない）した。アンケートおよび Tascomat 検査と呼ばれる検査（反応時間，記憶，視覚選択注意力などの評価方法）によって曝露による影響を評価した．照射強度は 1m の高さで電界強度 1V/m であり，これは基地局から放射される電波が人体に照射される最大の場合に相当する．実験は２重盲検法によった．

その結果，高周波電磁界の曝露と体調は無関係ではなく，UMTS の波形による曝露とアンケート調査による「安寧」（well being）の低下との統計的な関連性が検出された．また，反応時間，記憶の試験の成績がやや上昇した．この結果は，電磁波過敏症の自覚の有無に関係なく，グループ A，B に共通であった．しかし，各実験項目での結果は非常にばらつきが大きく，たまたまアンケートの安寧の項目に差が見られたという可能性は無視できない．

文献(3.3)

APM Zwamborn, SHAH Vossen et al (2003). Effects of Global Communication system

radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Function of human subjects with and without subjective complaints (Report FEL-03-C148). The Hague, The Netherlands, Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO).
:http://www.ez.nl/beleid/home_ond/gsm/docs/TNO-FEL_REPORT_03148_Definitief.pdf .

４．動物・細胞実験

4.1 発がん

動物実験による発がん性の評価，特に長期曝露による影響は，WHOのプロジェクトでも最優先課題に挙げられており，多くの研究が行われている．2002 年までの研究を表 4.1 にまとめる(Elder,2003)．

新たに報告された研究として，Reginaら(Regina,2003)は，F344 ラットを用いて自然発生の発がん性を調べた．835.62MHzのFDMA波と 847.74MHzのCDMA波に１日４時間，週５日間の照射を２年間継続した．SARの公称値は1.3 ± 0.5 W/kgであった．すべての主要な組織を病理学的に検査した結果、曝露群と偽曝露群の間に体重，寿命に有意な差が無く，どの臓器にも有意な発がんへの影響が見られなかった．動物数が各群 80 匹であり，自発発がんの試験としては少なすぎる問題があるが，これまでの他の研究結果の多くと同様に，悪影響がみられなかったということから，これまでの知見を補強する結果である．

Annane ら(2003)は，900MHz 帯の GSM 方式携帯電話の波形をラットに準慢性曝露し、がんのプロモーションおよびプログレッションの可能性を検討した．実験動物は DMBA の投与により乳がんを誘導したメスの Sparague-Dawley ラットであり，実験は２回に分けて行われた．最初の実験は全身平均 SAR が 3.5, 2.2, 1.4 W/kg の３段階と偽曝露の４群（各群 16 匹），２回目の実験は同じく４群で，曝露の強さが 1.4, 0.7, 0.1 W/kg であった．曝露は電界の向きが体軸に平行な平面を用いた．曝露期間は１日２時間，週 5 日で９週間であった．曝露が終了して３週後に解剖し，腫瘍の重量，数，位置，大きさを検査した．その結果，１回目の実験では，1.4W/kg の曝露群で腫瘍の促進，2.2W/kg で抑制，3.5W/kg で変化なしという一貫しない結果となった．２回目の実験では差がなかった．これらの結果から，900MHz の GSM 信号波形のマイクロ波曝露は，DMBA モデルの乳がんの促進に影響しないと結論づけた．

Vijayalaxmiらは，イリジウム携帯電話システムの基地局からの曝露を想定して，妊娠したF344 ラットおよびその仔ラットを離乳期まで 1.6GHzのイリジウムシステムの波形の電波に全身曝露（１日２時間，週７日，0.43mW/cm^2）し，さらにその後は電話端末の使用を想定して，１日２時間，週５日，２年間，および 1.6W/kgのSARで頭部に集中した曝露を行った．骨髄塗抹から赤血球の小核形成頻度を測定し、遺伝毒性の評価を行った．実験は２年間のNTP試験のプロトコルに従っている。その結果，0.16W/kgの群では 5.6±1.8 (130 匹を曝露)，1.6W/kgの群で 5.4±1.5(135 匹を曝露)，偽曝露群では 5.6±1.7(119 匹を偽曝露)，ケージ対照群で 5.8±1.8(100 匹)と有意差は検出されなかった．

わが国でも，総務省による生体電磁環境研究推進委員会によるプロジェクトとして，F344ラットの長期曝露実験が行われた．この実験のプロトコルは，Adeyらの実験（Adey,○）とほぼ同じであり，ENUを投与した母親ラットから産まれた仔ラットを用いたプロモーション研究である．雌雄各５群，各 50 匹，計 500 匹のラットが用いられた．曝露は２レベルで，脳平均SARが 0.67W/kgおよび 2.0W/kgである．結果は，ENUで誘発される脳腫瘍の発生に高周波の曝露を影響を示さなかった．この研究は学術論文としてはまだ公表されていないが，報告書としてhttp://www.soumu.go.jp/s-news/2003/031010_1.htmlから入手できる．

文献(4.1)

J.A. Elder (2003). Survival and cancer in laboratory mammals exposed to radiofrquency energy, 24, S6, S101-S106.

M La Regina, EG Moros et al(2003) The effect of chronic exposure to 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA radiofrequency radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats. Radiat Res 160:143-151.

R. Anane, P—E. Dulou, M.Taxile, M. Geffard, F-L Crespeau, B.Veyret (2003). Effects of GSM-900 Microwaves on DMBA-Induced Mammary Gland Tumors in Female Sprague-Dawley Rats, Radiation Research: Vol. 160, No. 4, pp. 492–497.

Vijayalaxmi, Lyle B. Sasser, James E. Morris, Bary W. Wilson, and Larry E. Anderson (2003). Genotoxic potential of 1.6 GHz wireless communication signal: In vivo two-year bioassay. Radiat Res 159:558-564.

Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, MacMurray A, Stagg RB, Zimmerman G, Phillips JL, Haggren W. 1999. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats chronically exposed to 846 MHz modulated microwaves. Radiat Res 152:293-302.

4.2 血液脳関門

血液脳関門（BBB）への影響は、高周波電磁界の生体作用で、最も議論される機会の多い問題の一つである．古くから，熱作用の生じる強い曝露では透過性が高まることが知られていたが、携帯電話程度の弱い曝露でもアルブミンの漏洩が見られたという報告（Salford 1994）以来、高い関心を集めている．しかし，その後の研究では影響が見られないという報告がほとんどである．表 4.2 に示す D'Andrea ら(2003b)によるレビューは，これまでの血液脳関門への高周波の影響に関するこのような状況について詳細に述べている．

Salford ら(2003)はこれまでの研究に引き続き，0.02 および 0.2W/kg という携帯電話で生

じる SAR より小さな SAR での曝露によって血液脳関門をアルブミンが透過することを報告し，さらに，神経細胞の損傷を示す「ダークニューロン」の頻度が曝露の大きさに依存して増えることを報告している．

D'andorea(2003)によるレビュー（表 4.2）では，血液脳関門への影響に関する 25 の研究論文を精査している．携帯電話機から曝露程度の弱い曝露では，Salford と共同研究者の Persson のグループによる報告だけが影響を報告している．但し，査読された論文は未刊行であるが，ボルドー大学のグループが類似の陽性報告(Töre 2001)をしている例があり，また，核磁気共鳴装置によって血液脳関門の透過性が増加したという報告もある(Prato 1990).

Leszczynski ら(2002)は、ヒト内皮細胞に *in vitro* で携帯電話によって脳に生じるのと同レベルの曝露を行い、熱ショック蛋白 27 の発現を報告している。著者らはこの蛋白の発現が血液脳関門の透過性の増加に結びつく可能性を指摘しているが，血液脳関門自体を対象とした研究ではない．Leszczynski(2004)は，この実験結果を根拠にマイクロ波の曝露がタンパク質リン酸化に影響を及ぼす可能性を問題提起している．

血液脳関門への影響の問題は，携帯電話機による健康リスクを評価する上で重要な問題であるとの認識から、2003 年 11 月にこの問題を集中的に扱うワークショップがドイツの Reisensburg で開催された(http://www.cost281.org/)．ワークショップでの報告では，Salford と Persson のグループ，Töre と Aubineau らグループがこれまで報告通りの陽性報告，Fritze と Hossmann のグループは拘束時に強い曝露を受ければ一過性の影響があるが，影響はマイナーであると報告，米国ブルックス空軍研究所の Miller らのグループおよび日本の国立保健医療科学院の Masuda と Ohkubo のグループは影響がないという結果を報告した．このうち，Miller らは Salford らと同じ曝露装置を使用したにもかかわらず，影響を見ていない．結果の不一致を解決し，この問題の結論を得る必要があることから，共通のプロトコルでの確認実験が多研究機関で実施される見通しである．

文献(4.2)

LG Salford, A Brun, et al(1994). Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. Micro Res Tech 27:535-542.

John A. D'Andrea, C.K. Chou, Sheila A. Johnston, Eleanor R. Adair (2003b). Microwave effects on the nervous system, 24, S6, S107-S147.

LG Salford, AE Brun et al (2003). Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environ Health Perspect 111:881-883.

F. Töre, P-E Dulou, E. Haro, B. Veyret, P. Aubineau (2001). Two-hour exposure to 2 W/kg, 900 MHz GSM microwaves induces plasma protein extravasation in rat brain. N

Proc. 5th Int'l Congress Eur. Bioelectromagnetics Association. 43-45.

Prato FS, Frappier JRH, Shivers RR, Kavaliers M, Zabel P, Drost D, Lee TY. (1990). Magnetic resonance imaging increases the blood–brain barrier permeability to 153-gadolinium diethylenetriaminepentaacetic acid in rats. Brain Res 523:301– 304.

D Leszczynski, S Joenväärä et al (2002). Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. Differentiation 70:120-129.

D. Leszczynski, R. Nylund, S. Joenääraä, J. Reivinen (2004). Applicability of discovery science approach to determine biological effects of mobile phone radiation, Proteomics, 4, 429-431.

4.3 学習

学習への影響については，Lai ら(1994)がマイクロ波の曝露によってラットの放射状迷路学習の能力を低下させること，また同じ研究グループが、水中迷路学習での学習能力の低下(Wang and Lai 2000)を報告したが，その後の研究は影響を再現していない.

Yamaguchi ら(2003)は，1439MHz の PDC（日本の TDMA 方式によるディジタル携帯電話の方式で，米国の方式に近い波形）方式の波形のマイクロ波をモノポールアンテナにより頭部に集中して曝露し，学習への影響を調べた．脳での平均 SAR は 7.5W/kg（全身平均 SAR=1.7W/kg)，および 25W/kg （同，5.7W/kg）で 1 回 45 分間の曝露を 4 日間行った．学習能力は T 型迷路テストを用いた．25W/kg の場合は学習が低下したが，明らかに熱の影響であった．7.5W/kg およびそれ以下では，学習に影響がなかった.

Dubreuli(2003)らは，ラットの頭部局所曝露が空間学習および非空間学習に及ぼす影響を調べた．曝露は頭部への局所曝露で，周波数 2.45GHz の GSM 方式の携帯電話の波形を模擬した信号で，頭部の SAR は 1W/kg および 3.5W/kg で，曝露時間は 45 分間である．空間学習は放射状迷路学習で，非空間学習は物体認識タスクを組み込んだ．その結果，これらの学習能力に影響は見られなかった.

Cobb ら(2004)は，円形導波管内で，Lai らと同じ 2 μs のパルス幅で 500pps のパルス頻度の 2,45GHz のマイクロ波をラットに照射し，12 本の放射状迷路を用いた学習実験を行い，曝露の影響を評価した．この研究でも影響は見られなかった.

これらの結果は、学習への影響についての Lai らの報告が再現しないことを示している。

文献(4.3)

Lai H, Horita A et al (1994) Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. Bioelectromagnetics, 15:95-104.

Wang B and Lai H: (2000) Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects

water-maze performance of rats. Bioelectromagnetics, 21:52-56..

H Yamaguchi, G Tsurita et al (2003).1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. Bioelectromagnetics 24:223-230.

D Dubreuil, T Jay et al (2003). Head-only exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields does not alter rat's memory in spatial and non-spatial tasks. Behav Brain Res 145:51-61.

BL Cobb, JR Jauchem, ER Adairl (2004). Radial arm maze performance of rats following repeated low level microwave radiation exposure. Bioelectromagnetics 25:49-57.

4.4. 遺伝毒性

ＤＮＡ切断と小核形成が細胞レベルでの遺伝毒性を示唆する影響として注目されてきた．しかし，これらの再現実験が先行研究による問題提起を支持しなかったことは昨年報告した．新しい研究報告でも，やはり影響の存在を否定する報告が追加された．

McNamee ら(2002)は，ヒト血液を 1.9GHz の連続波に 0，0.1，0.26，0.92，2.4，10 W/kg の平均 SAR で２時間曝露し遺伝毒性を調べた．温度は 37.0 ± 0.5° C に維持された．コメットアッセイ法では影響が検出されず，小核形成頻度にも曝露による差が見られなかった．McNamee ら(2003)はさらに，曝露時間を 24 時間とした実験も行ったが，やはり曝露によって差は見られなかった．

Zeni らはヒト末梢血のリンパ球に 900MHz のマイクロ波を次の条件で曝露した．1）連続波を６分間曝露し３時間休止する間歇曝露（SAR=1.6W/kg）を 14 サイクル，2）同じ条件で GSM 方式の変調波形の間歇曝露，3）GSM 波形で上記と同様の曝露をするが，24 時間前にフィトヘマグルチニン(リンパ球の芽球化を誘導する)で処理, 4) GSM 波形により SAR=0.2W/kg で１日１時間，３日間曝露．結果は，その曝露条件でも，小核形成及び細胞周期に変化が見られなかった．

Koyama ら(2003)は（CHO）-K1 細胞を用いて，2.45GHz,18 時間のマイクロ波照射による小核形成頻度を調べた．曝露強度は，培養容器を SAR の異なる同心円状の小区画に仕切ることで入力電力 7.8W に対し 13, 39, 50 W/kg, 13W 入力で 25, 78, 100W/kg とした. SAR が 50W/kg までのマイクロ波曝露では，小核形成頻度は偽曝露群と有意差がなかった．これに対し，78W/kg および 100W/kg では小核形成頻度が増加した．また，ブレオマイシンを加えて曝露の有無による違いを調べた結果，やはり 78 および 100W/kg の条件でのみ有意差が見られた．一方，39℃の高温環境で 18 時間培養したときにも小核形成頻度は増加した．78 および 100W/kg では 39℃程度までの温度上昇があった．これらの結果から，携帯電話で生じる SAR の 25～50 倍程度に相当する 50W/kg でも小核形成の増加はなく，39℃

程度まで温度が上昇すると小核形成の増加が見られることが示された.

宮越ら(2003)は，ヒトの脳腫瘍由来の MO54 細胞を用いて in vitro でコメットアッセイ法による DNA 鎖切断への影響も調べた．周波数 2.45GHz の連続波で，SAR などの曝露条件は Koyama らの実験と同じである．この実験では，最大の SAR でも DNA 鎖の切断を示す変化は見られなかった.

Lagroye(2003)らは，2.45GHz のパルスマイクロ波をＳＤラットに照射し，コメットアッセイ法によりＤＮＡ損傷（ＤＮＡ鎖切断）を評価した．ＳＡＲは 1.2W/kg である．これらは H. Lai らが以前に DNA 鎖切断の存在を報告した時の条件と類似である．この実験ではプロテイナーゼＫの有無による影響に着目しているが，有無にかかわらずＤＮＡへの影響は見られなかった.

これらの一連の研究報告から、細胞レベルでの遺伝毒性を示唆する研究結果は再現しない可能性が高いことが示されている。

文献(4.4)

JP McNamee, PV Bellier, GB Gajda, SM Miller, EP Lemay, BF Lavallée, , L Marro, A Thansandote (2002). DNA Damage and Micronucleus Induction in Human Leukocytes after Acute *In Vitro* Exposure to a 1.9 GHz Continuous-Wave Radiofrequency Field. *Radiat. Res.* 158, 523–533.

JP McNamee, PV Bellier et al (2003). No evidence for genotoxic effects from 24 h exposure of human leukocytes to 1.9 GHz radiofrequency radiation. Radiat Res 159:693-697.

O Zeni, AS Chiavoni et al (2003). Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. Radiat Res 160:152-158.

S.Koyama, T.Nakahara, K.Wake, M.Taki, Y.Isozumi, J.Miyakoshi (2003). Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. Mutation Research, 541:81-89.

宮越順二，吉田雅美，垂澤芳明，野島俊雄，和氣加奈子，多氣昌生 (2001). コメットアッセイ法を用いた高周波電磁界曝露による DNA 損傷解析，電気学会論文誌基礎・材料・共通部門，Vol.121-A, No.12, pp.1093-1098.

I Lagroye, GJ Jook et al (2004). Measurement of alkali labile DNA damage and protein-DNA crosslinks following 2450 MHz microwave and low dose gamma irradiation in vitro. Radiat Res 161:201-214.

５．まとめ

WHO による国際電磁界プロジェクトが開始されてから 7 年以上が経過した. 低周波電磁界の検討がほぼ終結し，数年前から関心が高周波に移行している．このため，非常に多くの研究が行われ，その成果が公表されるようになった．多数の研究報告があり，しかもその内容は、過去に問題提起された研究の追試が多い．それらの結果の多くは，過去に示唆された現象が再現しないことを報告している.

追試でない新しい研究があっても，生体電磁気研究については経験の浅い研究グループの報告が多い．これらの研究報告では、実験の品質を裏付ける曝露条件などの記述が必ずしも十分にされていない場合が多い．いずれにしても，多くの研究報告があるにもかかわらず，過去の研究を塗り替える新しい発見はない.

Bioelectromagnetics 誌の 2003 年最終号の巻頭に，編集委員長のコメントが掲載されている．表題は”It’s Déjà Vu All Over Again”である．投稿される論文が，過去の研究の繰り返しになっていることへの警鐘である．WHO による国際電磁界プロジェクトによって，これまで電磁界の健康影響問題にほとんど縁のなかった国でも研究が行われるようになった. また，プロジェクトに触発されて，この分野の経験が浅い研究者が参入し，その研究結果が報告され始めた時期でもある．2003 年 10 月に桂林で開催された WHO の会議では，中国の研究者がマイクロ波曝露によりサルが死亡した実験結果を報告していたが、曝露装置は非常に狭い平行平板であり、曝露条件の定量的な記述がされていなかった。中国からの陽性報告には，その実験の信頼性に疑問を投げかける声があった.

このような状況であることから，新しい研究が必ずしも過去の研究に対してより洗練された結果を示しているとはいえない．一方では，電磁界プロジェクト開始以前からこの問題を研究していた研究グループによる報告は，ドシメトリーの記述などが的確になり，信頼性の向上が伺われる．また，これらの研究の多くは，影響を否定している.

今年度の状況をまとめると，次の通りである.

- ヒトに対する神経生理学的影響の過去の問題提起に対し，多くの研究がなされたが，影響は再現性が不十分である（Hossman,2003）
- 動物実験による発がん性研究の結果は，多くの実験がすべて影響を否定している
- 学習への影響の研究は再現しない
- 細胞レベルの遺伝毒性の研究はいずれも影響を示していない.

これらの状況は，携帯電話からの高周波電磁界への曝露が，問題になるほどのリスクでは無いことを強く示唆している．NRPB は 2003 年に「高周波電磁界による健康影響」の新しいレビュー文書(NRPB,2003)を発行した。このレビューは 2000 年に携帯電話と健康に関する専門家会議(IEGMP)が発行した報告書（スチュアート報告）が提起した問題を受けて、その後に行われた研究を中心にレビューを行ったものである．この報告書の結論は，次のように要約されている.

「IEGMP がレビューした研究については，携帯電話の電波による認知機能の変化の可能性,

パルス変調された電磁界による神経系からのカルシウム流出への影響であった．認知機能への影響はまだ結論が出たとはいえないが，カルシウムイオンへの影響は，最近の高品質の研究によって支持されなかった．生物実験は，高周波電磁界が突然変異，発がんのイニシエーション，プロモーションを示していない．また，疫学研究のデータは全体として高周波，特に携帯電話からの高周波とがんのリスクの因果的な関連を示していない．携帯電話基地局からの曝露レベルは非常に低い．したがって，全体としてみた証拠は，健康へのリスクにはならない．小児の高周波曝露についての研究報告はまだほとんど無く，IEGMP 報告の後，公表された研究はない.」

ここで，認知機能への影響に対してまだ留保する表現が残されているが，Hossmann(2003)のレビューおよび，2000 年にこの問題を提起した研究グループの一つである Krause，Koivist らの研究グループからの追試研究報告が再現性を否定したこと（Krause,2004）から，この現象に対しても否定的な動向である.

最後に述べられている、小児の健康への影響は、携帯電話の使用が低年齢の小児にも広がっていることから、ＷＨＯのプロジェクトでも今後の課題として認識されている問題である。

文献(5)

KA Hossmann and DM Hermann (2003). Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. Bioelectromagnetics 24:49-62, 2003

Advisory Group on Non-Ionizing Radiation (U.K.)(2003.). Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Doc NRPB 14:1-177. http://www.nrpb.org/publications/documents_of_nrpb/abstracts/absd14-2.htm.

CM Krause, C Haarala et al (2004). Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: A double blind replication study. Bioelectromagnetics 25:33-40.

表2.1　携帯電話使用者における脳腫瘍の疫学調査（Elwood[2003]より）

筆頭著者	文献	発表年	調査数		全体			アナログ電話			高曝露の場合				側頭葉腫瘍	
			患者	対照	OR/RR	95%信頼区間		OR	95%信頼区間		曝露	OR/RR	95%信頼区間		OR/RR	95%信
						下限	上限		下限	上限			下限	上限		下限
Hardell	(Hardell et al.. 1999, 2000)	1999＆2000	209	425	1.0	0.7	1.4	0.9	0.6	1.4	潜伏期>10 年 使用時間>968時間	1.1	0.3	3.4	1.55	0.8
Muscat	(Muscat et al., 2000)	2000	469	422	0.85	0.6	1.2	(88% アナログ)			>480時間	0.7	0.3	1.4	0.9	0.5
Inskip	(Inakip et al., 2001)	2001	782	799	1.0	0.6	1.5	(主にアナログ)			>500時間	0.7	0.2	1.1	0.8	0.5
Johansen	(Johansen et al., 2001)	2001	ｺﾎｰﾄ													
	男性		135		0.95	0.79	1.12				購入期間>5年 （男女合計）	1.0	0.7	1.6	0.9	0.4
	女性		19		1.03	0.62	1.61									
Auvinen	(Auvinen et al., 2002)	2002	398	1990	1.3	0.9	1.8	1.6	1.1	2.3	購入期間>2年	1.5	0.9	2.5		
Hardell	(Hardell et al., 2002a)	2002	1303	1303												
	アナログ電話機				1.2	1.0	1.6	1.2	1.0	1.6	潜伏期>10 年 使用時間>85時間	1.9	1.1	3.2	2.0	1.3
	ディジタル電話機				1.1	0.8	1.2				潜伏期>5 年 使用時間>55時間	1.1	0.6	1.9	1.0	0.7

表3.1 RF曝露の脳波(EEG)への影響 (D'Andrea et al [2003a]より)

EMF 影響	対象	SAR (W/kg)	周波数(MHz)	変調	強度 (mW/cm^2)	曝露時間
紡錘活動波と徐波の増加;単発光刺激に対する視覚野誘発反応の増強	ウサギ(無麻酔)		2400	CW	40	1分
脳波パワースペクトル分析における有意な影響あり。但し、同一周波数ではない	ラット	2.7	2450	CW	10	7時間
最初の20秒間における10-14 Hz脳波の非対称性の有意な上昇	ラット 8匹		945	(AM: 4 Hz)パルス幅2ms	0.1-0.2 mW/cm、アンテナ位置:ラット上方28-30cm	1分 on:1分 offを交互に10分
スペクトルの全パワーに変化なし	ラット 40匹		2450		1030	10分
δ波のパワー増加	ラット	42	4000 CW	AM: 16 Hz		30分
β波のパワー増加	ラット	8.4	4000	CW		
脳波および行動の一時的変化	ヒト 10人		0.1-960 MHz CW; 8.5-9.6 GHz パルス変調		<1pW/cm	
有意な睡眠誘発効果	52人(女性32、男性20)、18-53歳(中央値24)	口腔粘膜<10 、脳0.1 W/kg	27.12	Intrabuccal振幅変調 42.7Hz		3s on:1s offを交互に15分
睡眠開始の有意な減退および睡眠初期の10-11および13.5-14Hz帯のNREM徐波睡眠のスペクトルパワーの増加	右利き男性20-25歳(平均22)	組織10gにつき最大1 W/kg	GSM 900; 直線偏波	2, 8, 217, 1736 Hz;デューティサイクル87.5%(携帯は12.5%)	アンテナ3個、距離30cm	15分 on:15分 off, 11PM-7AM
NREM睡眠時脳波のスペクトルパワーが睡眠開始30分間のみ増加。最大の増加は睡眠初期に9.75-11.25Hzおよび12.5-13.25Hz(α帯)で見られる。睡眠遅延、睡眠深度、REM睡眠スペクトルに影響なし。左右どちらからの曝露でも同じ効果あり。	右利き男性16人、20-25歳(平均22)	組織10gにつき空間ピーク値0.5W/kg、脳半球0.14W/kg	900 MHz: CW and GSM基地局合成信号	2, 8, 217, 1736 Hz;デューティサイクル87.5%	右側または左側頭部から11cm	3時間の昼寝後、30分。睡眠エピソード記録。
パルス変調EMFは(1)覚醒時rCBFを変化させる(2)覚醒時および睡眠時脳波の変化を誘発する。	右利き男性 2×16人、20-25歳	組織10gにつき空間ピーク値1W/kg(基地局による曝露の4倍)	曝露1,2:900MHz受話器信号、曝露2:900MHzCW	曝露1、2:デューティサイクル12.5%の2, 8, 217, 1736 Hz+高調波	平面アンテナ、左側、耳から11cm	曝露1:8:00-14:00. 左頭部に30分。、開始10分後からPETで覚醒状態測定。
後頭部頭皮電極O1/O2において、数時間の曝露中、および曝露後、O2電極のα波変化(エネルギー増加)	男女17人、20-27歳		150MHzおよび首部に磁気コイル(10-8T)	217 Hz, パルス幅4.6ms、パルス間隔10μs	脳内深度6cmで1μW/cm^2	15分間曝露を2、3回
安静覚醒被験者。曝露後15分でα2(9.75-12.5)β1,2成分の増加(マイクロ波治療器は曝露中および後にα2,β1,2成分の増加を引起こした)	男女36人	0.25W電話機と同等	902.4 MHz GSM8Wおよび150 MHz治療器	217Hzパルス波(80μs 9.6 Hz)	磁束密度400pT以内	1時間6分

≪前頁から続く≫

RF曝露中、有意なREM睡眠抑制効果およびREM脳波パワースペクトル密度(主にα波)の増加と睡眠開始(NREM)の短縮	男性14人(平均27歳)		900 GSM 携帯電話	217Hz、パルス幅580μs	0.05(位置40 cm)	8時間、3夜
覚醒閉眼脳波、特にα波パワースペクトル密度に短期的影響なし	男性34人(平均27歳)		900 GSM 携帯電話	217Hz、パルス幅580μs	0.05(位置40 cm)	3.5分
ヒト睡眠中の心拍変動に(中枢神経介在の)影響なし	男性12人(21-34歳)		900 GSM 携帯電話	217Hz、パルス幅580μs	0.05(位置40 cm)	8時間、1夜
REM睡眠抑制と睡眠誘発効果、再現性はなかった。	男性24人(18-37歳、平均26歳)	0.3-0.6W/kg	円偏波900MHz携帯電話	217Hz、パルス幅577μs	0.2 W/m^2	8時間、1夜(11pm-7am)
覚醒閉眼脳波の活動に影響なし。	男性10人(28-48歳)女性9人(32-57歳)		5機種 (アナログ・デジタル 900,1800MHz)	900 NMT, GSM; PCN 1800MHz	ピーク電力1-2W(最大出力時)	
タスク関連標的刺激に伴う覚醒脳波(β、γ)に影響あり、非関連標準刺激時には影響なし	男性13人(21-27歳)		916.2	217Hzパルス波(パルス幅577μs.放射電力2.8W)		約10分、左後側頭部
覚醒時視覚モニタリングタスクにおける予備的slow brain potential(SP)の有意な減少(側頭、頭頂および後頭部でみられた。前頭部ではなし)。指の動き、随伴陰性変動には影響なし。	右利き男性16人(21-26歳)、	0.882W/kg (組織10g毎)	916.2	217Hzパルス波(パルス幅577μs.放射電力2.8W)		約10分、左耳電話
複雑視覚タスクにおける覚醒slow brain potential(SP)の有意な減少。指の動き、随伴陰性変動には影響なし。	右利き男性20人(21-30歳)、	2.8W/kg (組織10g毎)	916.2	217Hzパルス波(パルス幅577μs.放射電力2.8W)		約10分、左耳電話
聴覚脳幹反応(ABRs)と歪による聴音放射生成(DPOE)に影響なし。	男性10人女性10人(20-30歳)		900	217Hz GSM	ピーク電力2W/8(デューティサイクル1/8)	60分
蝸牛レセプタへの影響(予備的結果)。蝸牛からの聴音放射には影響なし	S-Dラット、各群8匹	頭部0.2W/kgまたは(a)1.0W/kg,(b)1.0W/kg	(a) 950, (b) 936	CW	遠方電磁界曝露	(a)3日間、3時間/日,(b)5日間、3時間/日
安静時脳波の変化なし。聴覚記憶タスク(単語)中に8-10Hz成分の有意な相対的増加あり。	右利き男性8人女性8人(平均22歳)		902 GSM	217Hz,パルス幅577μs,0.25W	通常使用位置(頭部右側)	薄暗室、椅子掛け、30分
事象関連同期および非同期反応の全ての周波数帯で影響なし。	右利き男女24人(20-30歳、平均23歳)		902 GSM	217Hz,パルス幅577μs,0.25W	通常使用位置(頭部右側)	薄暗室、椅子掛け、30分
単調認知タスク中における過剰眠気の抑制と成績の向上	ナルコレプシー、カタプレキシー患者22人(平均48歳)	0.06W/kg (組織10g毎)	900 Motorola d520 MP	217Hz,パルス幅577μs,2.8Hz,0.25W		45分、右耳

表4.1 実験動物における生存およびガンへのRF曝露の影響（Elder et al.[2003]より）

動物種	周波数（MHz）	吸収量(W/kg)[a]	曝露条件	生存率	がん発生率	文献
マウス	9270 PW	40[b]	4.5 min/d, 5 d/wk, 59 wk	↑[c]	白血球がん(leucosis)	Prausnitz and Susskind[1962] [参照 Kirk,
マウス	800 CW	12.9[b]	2 h/d, 5 d/wk, 35 wk	NSs[d]	ND	Spalding et al. [1971]
マウス	2450 CW	35	20 min/d, 4 d (prenatal)	↑	腫瘍発育遅延；がん全体の変化なし	Preskom et al. [1978]
マウス	2450 CW	2-3 6-8	2 h/d, 6 d/wk, up to 10.5 mo 2 h/d, 6 d/wk, up to 10.5 mo	↓ ↓	↑（乳がん, BP誘発皮膚がん、肺がん）	Szmigielski et al. [1982]
マウス	2450 CW 2450 PW	1.2 1.2	2.5 h/d, 6 d/wk, until death(～26 d) 2.5 h/d, 6 d/wk, until death(～26 d)	NSs NSs	NSc[e] NSc	Santini et al. [1988]
ラット	2450 PW	0. 15-0.4	21.5 h/d, 7 d/wk, 25 mo	NSs	↑（初期悪性腫瘍）	Chou et al. [1992]
マウス	2450 CW 2450 CW	2 6.8	1 h/d, 5 d/wk, 31 mo 1 h/d, 5 d/wk, 27 mo	NSs ↓	ND ND	Liddle et al. [1994]
マウス	435 PW	0.32	22 h/d, 7 d/wk, 21 mo	NSs	NSc	Toler et al. [1997]
マウス	2450 CW	0.3	20 h/d, 7 d/wk, 18 mo	NSs	NSc	Frei et al. [1998a]
	2450 CW	1.0	20 h/d, 7 d/wk, 18 mo	NSs	NSc	Frei et al. [1998b]
ラット	836 TDMA	0.3-0.7 0.7-1.4 (br)（計算値） 1.8-2.3 (br)（測定値）	2 h/d, 4 d/wk, 24 mo	NSs	NSc	Adey et al. [1999]
ラット	900 GSM	0.075, 0.27	2 h/d, 5 d/wk, 2 wk	NSs	NSc	Chagnaud et al. [1999]
ラット	835.6 FM 847.7 CDMA	0.75 (br) 0.75 (br)	4 h/d, 5 d/wk, up to～6mo 4 h/d, 5 d/wk, up to～6mo	NSs NSs	NSc NSc	Higashikubo et al. [1999]
ラット	836 FM	0.3-0.7 0.7-1.4 (br)（計算値） 1.8-2.3 (br)（測定値）	2 h/d, 4 d/wk, 24 mo	NSs	NSc	Adey et al. [2000]
マウス	UWB	0.0098	2 min/wk, 3 mo	NSs	NSc	Jauchem et al. [2001]
マウス	902.4 PW 902.5 FM	0.35 1.5	1.5 h/d, 5 d/wk, 18 mo 1.5 h/d, 5 d/wk, 18 mo	NSs NSs	NSc NSc	Heikkinen et al. [2001]
ラット	860 CW 860 PW	1 (br) 1 (br)	6 h/d, 5 d/wk, 22 mo 6 h/d, 5 d/wk, 22 mo	NSs NSs	NSc NSc	Zook and Simmens [2001]
マウス	898.4 GSM	0.25, 1, 2, 4	1 h/d, 5 d/wk up to 24 mo	NSs	NSc	Utteridge et al. [2002]

PW, パルス波; CW, 連続波; TDMA, time division multiple access; GSM, global standard for mobile; FM, 周波数変調; CDMA, code division multiple access;UWB, ultra-wide band br, 脳での吸収率; ND, 不明; d, day; wk, week; mo, month.

[a]全身SAR(脳の場合は(br) で示す)

[b]Kirk [1984], Table 5-25.

[c]批判的レビューにより本報告は品質が低いと決定されたので、生存およびがんへの影響は認められない。[参照 Kirk, 1984].

[d]NSs 生存率の有意な低下なし

[e]NSc がん発生率の有意な上昇なし

表4.2 RF曝露の血液脳関門（BBB)への影響 （D'Andrea et al.[2003b]より）

影響	対象動物	SAR (W/kg)	周波数 (MHz)	変調	強度(mW/cm^2)	曝露時間
脳血流量増加が計測された	ラット		2800	PW	15	5-60分
BBB透過性（ｴﾊﾞﾝｽ青染料を使用）の増加。MWﾊｲﾊﾟｻｰﾐｱとの関連あり。	ラット	～3.0	2450	PW		20分
透過性の有意な増加なし。熱的影響に関してδ補正した。ﾄﾚｰｻｰは[14C] および[3H]。	CDアルビノラット	0, 2, 4, 6	2450	CW	0, 10, 20, 30	30分
透過性の増加なし。ﾄﾚｰｻｰは^{131}Iｱﾙﾌﾞﾐﾝ。	イヌ		1000	CW	2, 4, 10, 50, 200	20分
$^{45}Ca^{2+}$ の脳組織への結合をﾊﾟﾙｽ変調MWによって変化させることを試みたが成功しなかった。	ラット脳（in vivo およびin vitro）	1.9-2.9 0.3	1000 2450	PW	1 10	20分
BBB透過性に影響なし。意識のあるラットを使用、ﾄﾚｰｻｰは[^{14}C]ｻｯｶﾛｰｽ。			2800	CW およびﾊﾟﾙｽ波（500pps）	10-40CW; 1-15PW	30分
ﾌﾙｵﾚｽｾｲﾝ･ﾅﾄﾘｳﾑに対するBBB透過性の増加あり。熱環境またはRFｴﾈﾙｷﾞｰ曝露による高温状態の脳においてのみ見られた。	Fisher344 ラット	13（＞41℃）	2450	CW	65	30 または90分
熱環境またはRFｴﾈﾙｷﾞｰ曝露後、HRPに対するBBB透過性の増加なし。脳のﾄﾚｰｻｰ摂取の減少は観察された。	Fisher344 ラット	13	2450	CW	0, 20, 65	30, 90, 180分
BBB透過性の増加なし。ﾄﾚｰｻｰは[^{14}C]。	ラット	13	2450	CW	20, 65	30, 90 分
ﾄﾚｰｻｰ-[^{14}C] 、[^{3}H]の摂取に変化なし。擬似曝露群と比較して、脳の8領域のいずれにおいても。	CD ラット	0.1	1700	CW およびPW		30分
[^{86}Rb]に対するBBB透過性の増加あり。MWによる強度ﾊｲﾊﾟｰｻｰﾐｱと関連あり。電磁界固有の相互作用によるものではない。	ｳｨｽﾀｰ系ラット	3（平均値）, 240（ﾋﾟｰｸ値）	2450	PW		5, 10, 20分
脳の加温を低減した状態で、MWで誘導したBBB透過性はｴﾀﾉｰﾙによって抑制された。	ｳｨｽﾀｰ・ラット	3.0	3150	CW		15分
核磁気共鳴は^{153}ｶﾞﾄﾞﾘﾆｳﾑ･ｼﾞｴﾁﾚﾝ･ﾄﾘｱﾐﾝ酢酸に対するBBB透過性を増加させた	ラット		6.25			23分
BBBを通した血管内分子(Rh因子複合体)の摂取の増加	ｱﾙﾋﾞﾉラット	～2	2450	PW	10	30-120分
ｱﾙﾌﾞﾐﾝ通路としてBBBを開けることが可能	Fisher344 ラット	3.3	915	CWおよびPW		
SAR2.5 W/kg以下では浸出に関係なし。それ以上のSARでは有意な上昇あり。但し、PWとCWほ曝露条件で有意な差異はなし。	Fisher344 ラット	0.16-5	915	CWおよびPW（8, 16, 50, 200/s）		120分
GSM携帯電話のMW曝露後、脳の神経細胞損傷あり	ラット（12-26週齢）	2, 20, 200 mW/kg(全身)	862-960	PW: 217 Hz	0.24, 2.4, 24 W/m^2（ﾋﾟｰｸ電力密度）	2時間
43℃以上の領域でｴﾊﾞﾝｽ青の浸出が観察されたが、42℃以下ではなかった。	ｳｨｽﾀｰﾗｯﾄ	<43℃	8	CW		30分
BBB開門はMWﾊｲﾊﾟｰｻｰﾐｱによるもの。MWの非熱的作用は関係しない。	S-Dラット	42.5 または44.3℃	2450	CW		30または60分
7.5 W/kgにおいてのみ浸出あり（ラット自己ｱﾙﾌﾞﾐﾝに対する免疫組織学による）	ラット	0.3-7.5（脳）	900 MHz	GSM		4時間
全てのSARレベルで浸出あり（ラット自己ｱﾙﾌﾞﾐﾝ、ﾌｨﾌﾞﾘﾉｰｹﾞﾝ、ｱﾋﾞｼﾞﾝｰﾋﾞｵﾁﾝに対する免疫組織学による）	ラット	0.0012-12（全身）	915MHzCW およびGSM	217Hz（ﾊﾟﾙｽ幅0.57ms）または50Hz（ﾊﾟﾙｽ幅6.6ms）		2分～960分
浸出なし（ラット自己ｱﾙﾌﾞﾐﾝ、ｱﾋﾞｼﾞﾝｰﾋﾞｵﾁﾝｴﾊﾞﾝｽ青に対する免疫組織学による）	ラット	2（脳）	1439 MHz	GSM TDMA		1時間/日, 2-4週間
浸出なし（マウス自己ｱﾙﾌﾞﾐﾝに対するin vivo免疫組織学による）	マウス	4.0（全身）	898.4 MHz	GSM		60分
透過度の上昇あり（ZO1^{14}C.ｻｯｶﾛｰｽ流束に対するBBB免疫組織学のin vitroモデルによる）	マウス	0.3	1800 MHz	GSM		4日
浸出なし（マウス脳での血管透過度に関する携帯電話MW曝露の長期的影響）	マウス	0.25, 1.0, 2.0, 4.0 W/kg（全身）	898.4 MHz	GSM		60分, 5日/週, 104週間