

特集 電磁環境 —機器と生体への影響—**家電・汎用製品における電源高調波の発生と影響**

Harmonics emission and the effect in power supply systems
caused by equipment for household and general use

坂下 栄二 (技術協力安全センタ)

Eiji SAKASHITA

Key Words: Harmonics, emission, IEC SC77A, 家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン.

1 まえがき

電力系統に電子・電気機器が接続される場合、機器の電源入力電流が正弦波とならない電源整流回路、位相制御回路、非線形負荷特性の部品等により負荷電流がひずみ、その結果電源周波数 50 Hz/60 Hz の高調波電流が発生し、また系統インピーダンスによって高調波電圧が生じる。これが総じて「電源高調波」である。電源負荷電流のひずみにより生じる高調波であり、電源線上に誘起される又は重畳される高周波の妨害とは異なる。電源高調波は「電源高調波ひずみ」とも称されるが、特にこの分野においては単に「高調波」(英文名; harmonics) と略して呼称されることが多い(以後、高調波と記載する)。

高調波の影響は機器・設備・系統によって異なるが、調相設備の電力コンデンサとそのリアクタやトランスの加熱、焼損、異音の発生、制御機器の誤動作、接続機器の動作不良また寿命の劣化等の障害となる。これが高調波問題である。

高調波の発生は大電力機器から小電力機器に至る広範囲の機器・設備に起因する総合的なものである場合が多いが、ここでは比較的小電力機器である家電・汎用製品による高調波に注目して紹介する。

2 小電力機器による高調波問題への特徴

電力系統上の高調波レベルの総量は各種電力系統に生じる高調波の混合になるので小電力機器からの高調波の発生を分けて問題の有無の量を定めることは困難であるが、高調波の発生へのかかわりを考慮すると次のとおりである。

大電力機器からの高調波電流の発生は、高調波成分

の基本波電流に対する発生比率に基づく個々の機器の特性によるが、小電力機器個々の発生比率と同一である場合を考慮すれば、その値は小電力機器から発生する高調波電流よりも大きい。その結果、大電力機器の場合は一個の機器からの高調波発生レベルが電力系統の高調波レベル総量への寄与の一つになっていると考えることが出来る。

一方、家電・汎用製品のような小電力機器の場合は負荷電流の基本波電流自身が小さく、結果として小電力機器の個々の機器からの高調波電流発生レベルは小さいので一個の機器からの発生レベルは問題にはならない。しかし、家電・汎用製品のように大量生産される機器の場合は、機器への入力電流波形の似た機器が同時に使用される機会があり、個々の機器からの高調波電流の発生が小さいとはいえそれが重畳される可能性があり、結局総合的に大きな高調波電流の発生となり問題が懸念されるわけである。

3 家電・汎用製品からの高調波問題発生要素

上記のように個々の機器からの高調波電流の重畳が問題となるが、これは各種機器の使用状況、高調波電流の位相の一致による重畳と位相差によるキャンセル効果等の発生確率の総合である。このことを考慮しながら次の要素が考えられる。

1. 機器の入力電流波形が類似して、その結果高調波電流波形の位相に一致が見込まれ安定している。
2. 機器の使用 mode に一致が見込まれる (同時使用性)。
3. 同時使用機器のその地域における密度が高い。
4. 個々の機器の高調波成分の比率が高い。

結局、高調波電流発生比率の高い機器で、高調波電流位相の合った機器がその地域で密度高く同時使用された場合に高調波問題を起こす懸念があることになる。

4 家電・汎用製品から発生する高調波に対する取り組み (国際規格 IEC における審議を例として)

家電・汎用製品の普及は、比較的小電力の電子・電気機器であるが類似の特性を有する大量生産製品であるため、先に記載のとおり電源高調波問題への寄与の拡大がますます懸念され、国際規格 IEC における取り組みもずっと以前から規格化及びその改訂作業を繰り返し継続して行われ現在も続いている。

4.1 電源高調波は低周波の EMC

電源高調波は、50 Hz/60 Hz の電力系統に機器・設備を接続したことによって、今までその場に存在しなかったその他の周波数 (高調波) が生じることから、機器・設備からの妨害信号の発生を扱う「電磁妨害エミッション」であって、その結果、EMC (電磁両立性) におけるエミッション現象、特に伝導エミッションとして考えることが出来る。

EMC 現象であるので両立性レベルの事前の設定が必須であり、また必要に応じて高調波の影響を受ける側の機器・設備・装置のイミュニティレベルへの配慮が必要となる。

これらの背景において、国際規格 IEC では、低周波 EMC を取り扱う SC77A (分科委員会 77A) にて審議されている。現時点における SC77A における高調波の審議状況を Table 1 に示す。

注: SC77A に関する低周波とは、一般に 9 kHz までであるが、基本周波数の関連でさらに高い周波数を含める必要がある場合は、約 150 kHz まで、を意味する。

高調波の次数は、40 次 (50 Hz の場合 2 kHz, 60 Hz の場合 2.4 kHz) まで考慮される。

4.2 電源高調波は電力系統で分けて審議

高調波の問題は、各種電力系統について考慮される (Table 1 参照)。例えば、

1. 一般 (商用) 低電圧電力系統 (審議作業班は 77A/WG1)
2. 電圧の高い中電圧・高電圧電力系統 (審議作業班は 77A/WG8)

3. 工業プラント内の各種電力系統 (審議作業班は 77A/WG8)

等である。

ここでは家電・汎用製品を対象にしているので、「一般 (商用) 低電圧電力系統」に接続される機器・設備が対象である。

両立性レベルも電力系統で分けて審議される (審議作業班は 77A/WG8)。

注: 1992 年迄は、両立性レベルは TC77 (専門委員会 77)/WG8 (作業班 8) において、また一般用でない電力系統及び工業用系統に接続される機器については SC77B (分科委員会 77B) にて扱っていたが、改組され、低周波 EMC (エミッション、両立性レベル、イミュニティ) についてはすべて SC77A に移管され、その後 SC77A で取り扱っている [3][4]。

4.3 機器・設備の入力電流 (電力) で分けて審議

家電・汎用製品による高調波電流の発生を検討する場合、どの大きさの入力電流の機器・設備までを対象にするかの範囲を定める必要があり、IEC SC77A における現在までの審議では、欧州大陸の家庭における一般的な電力ブレーカの仕様 16 A を範囲としている。別途 75 A までの拡張規格も審議され準備されているが、家庭でまた汎用として電源系統に自由に接続できる範囲を超えた適用を対象としているのでここでは扱わないこととする (Table 1 参照)[5]-[9]。

さらに IEC SC77A において今まで作成された規格の対象電源電圧は、具体的には単相/3 相で、220 V/380 V, 230 V/400 V, 240 V/415 V, 50 Hz 又は 60 Hz である。

4.4 家電・汎用製品から発生する高調波電流への対処の特徴

電力系統に機器・設備を接続する場合に電力系統に流入する高調波の発生量が考慮されるが、高調波抑制と接続に関する対処法は主要して次の方法に分けられる。

1. 個々の機器・装置における高調波電流の発生対策は行わないが、総合して、例えばビルディングなどの建物やプラントでまとめて、その電力系統と一般の電力系統との接続点で高調波レベルを調査・規制して対処する。この場合、その建物やプラント内で接続される機器・装置が事前に把握され固定されていなければ高調波の発生量や発生

Table 1 The state of deliberation on harmonics in SC77A.

(1)	WG1 (高調波と他の低周波妨害)	一般低電圧電力系統のエミッション, この電力系統の高調波の審議, (入力電流 16A/相以下と 16A-75A の機器を分けて審議) TF(タスクフォース):TF2, TF3, Coordination Group & (TF5c~5h, Limit Group), TF5b, TF6
(2)	WG6 (低周波イミュニティ)	全電力系統のイミュニティ試験法と推奨限度値. 高調波の審議を含む.
(3)	WG8 (電源系統における電磁環境)	一般低電圧電力系統以外の電力系統-中圧, 高圧, 産業プラントの両立性レベル及びエミッション. 高調波の審議を含む.
(4)	WG9 (電力品質測定法)	主にフィールドにおける基本的な測定法と測定器及び測定データの使用に関する推奨法. 高調波の審議を含む.

モードが定まらないので機器・装置の変更・接続の自由度は低い又は自由度がない。

- 電力系統のある点において, その系統に既に接続されている機器・設備からの高調波発生レベルが, その系統の容量を考慮して, 低いと判明している場合には, つまり EMC の高調波両立性レベルに余裕のある電力系統のその点においては余裕に応じた高調波発生機器・設備が接続できることになり, 電力会社・電力当局の判断・許可を得てそのような点に限って接続する対処が出来る。
- 誰の許可や届け出も必要でなく, 自由に電力系統に接続, 切り離しの出来る機器・設備の場合は, それぞれの機器・設備において, その設計段階から高調波電流発生の抑制対策を行っておく。

家電・汎用製品の場合, 現在は, 特殊な場合を除いて, 上記 (3) の対処法として機器・設備の設計段階から高調波電流の発生の抑制対策が行われている。
(各家庭への電源接続点における高調波対策も考えられるが, 所要費用との関係もあり現在は行われていない。)

4.5 国際規格 IEC SC77A における高調波抑制規格の具体的作成審議の状況

4.5.1 経過

- * 家電製品については既に IEC 555-2(1982)(1995 年以降規格番号呼称の変更で IEC 60555-2)「家庭用機器及び同様の電気機器によって電力系統

に生じる妨害, 第 2 部: 高調波」[改訂 1(1995), 改訂 2(1998), 改訂 3(1991) を含む][1] によって, 同時使用性の高い照明機器及びテレビ受信機を中心に家電製品全般を対象にして高調波発生を抑制するための高調波発生限度値と試験法を含む規格を発行したが, 小型の電子機器の普及によって, 家庭用のみでなく事務所・商用でも広く使用される汎用製品が増加し, 汎用製品による高調波問題の発生が懸念されるようになった。

- * 1983 年 2 月の SC77A ニース会議において, 高調波の抑制に関し全面的な見直しを始めることになり, SC77A/WG1(高調波と低周波妨害) の設立を準備する方向に進んだ。1986 年に WG1 委員の参加募集と対象機器を広げた具体的な検討が開始され筆者 (坂下) も参加した。これが現在存在する IEC 61000-3-2 の規格作成の開始である。ここで入力電流 16 A 迄の汎用製品すべてに対象が広げられた [3][4]。
- * TC77/WG8 で審議されていた高調波発生限度値の基礎となる「両立性レベル」の規格 IEC 1000-2-2 (後の IEC 61000-2-2)「一般低電圧電力系統における低電圧伝導妨害と信号搬送のための両立性レベル」がまとめられ, 1990 年に発行された。その Table 1 に各次数毎の両立性レベルの値が定められている (Table 2 参照)[2][3][4]。総合電圧ひずみ 8%, 例えば第 5 次の両立性レ

ベル(電圧)は6%である。対象の高調波次数として40次迄考慮する。

製品の入力電流が正負ほぼバランスしている場合は偶数高調波の発生は比較的小さいので奇数時の高調波の発生抑制に注目される。また、3相の高調波電流のキャンセル効果が期待できるので低次の5次の高調波が多くの場合もっとも問題となるが、これらを考慮して偶数次や3次の倍数の両立性レベルは低い値(小さい値)に設定される。

- * 両立性レベルの設定を受けて、限度値や詳細な試験法の改訂など9年間に亘る多くの紆余曲折を経て1995年にIEC 61000-3-2 第1版がまとめられた[3][4][5]。この結果、IEC 60555-2をIEC規格から削除した。その後、詳細な改訂を改訂1(1997)と改訂2(1998)として重ね、現在次の2つのIEC 61000-3-2規格が有効な規格として存在している[6][7]。

- ・IEC 61000-3-2 第2版(2000-08)及びその第2版の改訂1(2001-08)を含む

- ・IEC 61000-3-2 第2.1版(2001-10)

である。

4.5.2 IEC 61000-3-2 第2版(2000-08)の特徴

- * 入力電流16 A/相までの機器で、単相/3相電圧220 V/380 V, 230 V/400 V, 240 V/415 V, 50 Hz又は60 Hzの電力系統に接続される機器に適用する。
- * 前記3に記した「家電・汎用製品からの高調波問題発生要素」を考慮して、機器を4分類する。分類のフローチャートをFig.1に示す。
 - ・同時使用性がはっきりしている照明機器に対しては品目指定して、独立の分類(Class C)とし、厳しい高調波電流発生限度値を規定する。
 - ・ポータブル機器は長く使用しないことから、多くの同類の機器からの同時使用性が低いので一つの分類(Class B)として緩和の高調波発生限度値を適用する。
 - ・小電力電子機器の電源回路に多く使用されているコンデンサ入力整流回路は、類似の入力電流波形を持ち、多くの機器の使用に伴う高調波

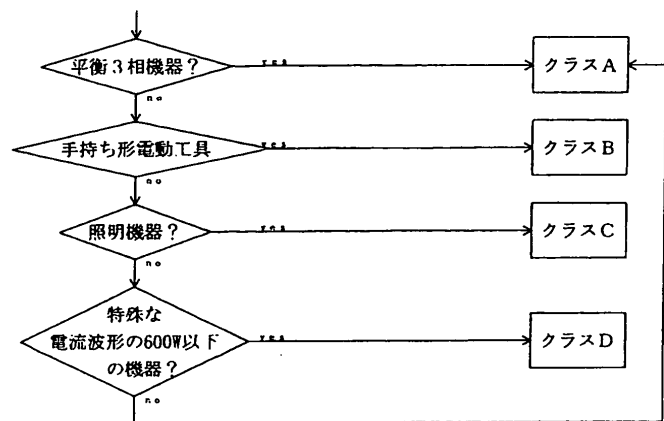


Fig. 1 Flow-chart for the classification of equipment in IEC 61000-3-2 Ed.1 and Ed.2.

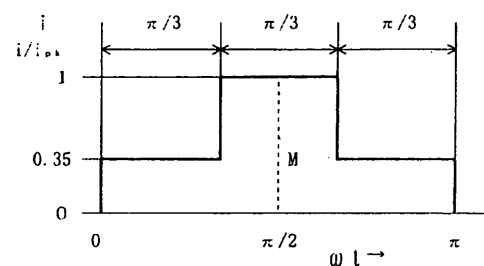


Fig. 2 Envelope of the input current to define the "special wave shape" and to classify equipment as class D.

電流の重量が懸念される。そのため600W以下の小電力機器を対象とし、しかも高調波を大きく含む入力電流波形幅の狭い入力電流を有する機器に対し特別に厳しい限度値を適用する分類(Class D)とする。入力電流幅65度を基準にして限度値を定める。また入力電流幅60度以下の機器をClass Dの機器と分類する。分類のための波形判定用の図を記載している(Fig.2参照)。

- * 高調波電流測定用試験回路及び個別機器の試験法の例を記載している。

4.5.3 IEC 61000-3-2 第2.1版(2001-10)の特徴

この規格は前記4.5.2のIEC 61000-3-2 第2版(2000-08)の改訂1(2001-08)を含む版である。

第2版との相違点は、入力電流が変動する機器に対する試験方法の明確化、またその場合の電力、高調波電流の測定結果の判定方法などの明確化が行われた。

Table 2 Compatibility levels for individual harmonic voltages in low voltage networks [IEC 61000-2-2(1990) Table 1].

Odd harmonics non-multiple of 3		Odd harmonics multiple of 3		Even harmonics	
Harmonic order n	Harmonic voltage %	Harmonic order n	Harmonic voltage %	Harmonic order n	Harmonic voltage %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				
>25	$0.2+0.5 \times 25/n$				

これに関連して、Class D の機器を分類する方法として第 2 版迄に使用された入力電流の波形による判定を避け、品目指定にして、テレビ受信機器とパーソナルコンピュータとそのモニタに限った。この結果機器の分類のフローチャートが変更された (Fig.3: 参照)。

本来 Class D のような 600 W 以下の小電力機器では高調波電流の重畳のみが問題であるので、入力電流波形が変動する場合は重畳問題が生じにくいので Class D の対象外であるが、機器分類の解釈の一人歩きにより正しい解釈にならないことを懸念して改訂に至ったが、品目指定の方法は機器の展開・発展を自動的にフォローしないのでさらなる改訂がすぐ必要となる欠点を含んでいる。

全体として高調波電流発生限度値の緩和方向の内容になっているが、両立性レベルとの関係の検討がなされてなく、またその他試験法の不備があるため SC77A 日本国内委員会では案の段階から反対し改善提案を提出しているが、欧州の EMC 指令との関係から即刻実施するための緊急緩和規格が必要となり作成された背景がある。

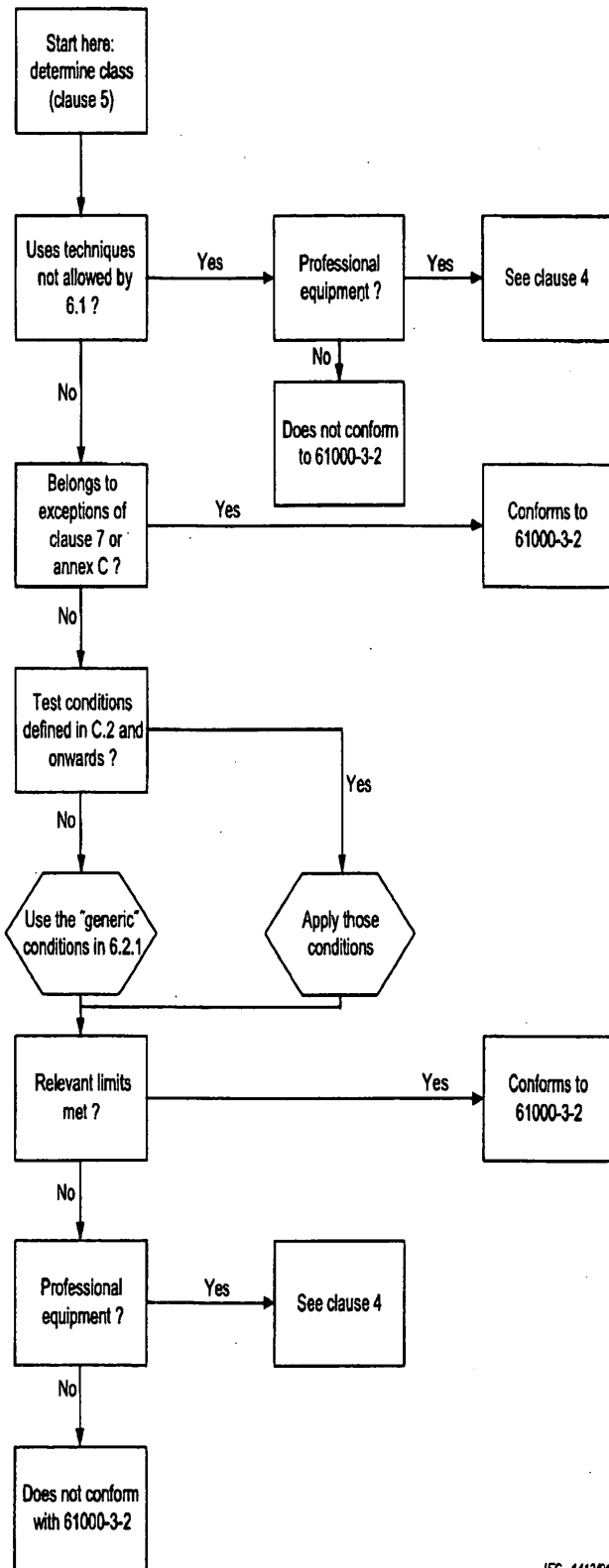
4.5.4 IEC 61000-3-2 第 3 版の作成審議

全面見直しの審議が開始している。審議の概要は次のとおりである [10]。

- * 前記 3 に記した「家電・汎用製品からの高調波問題発生要素」を基本として「機器・設備における抑制」、「電力系統における抑制」、「限度値の検討」及び「これらの連携作業」を加えて審議を行っている。タスクフォース (TF) を SC77A/WG1 の中に 8 TF 設立して検討している。2002 年 6 月頃第 1 案を作成する予定である。
- * 一般低電圧電力系統の公称 100V-120V に接続する機器を対象にした規格を同じ規格の中に含めることが出来るかどうかの審議を行う。日、米、加を中心とした TF を設立して検討している。

5 日本における家電・汎用品から発生する高調波抑制に関する取り組み [11][12][13]

- * 1987 年 5 月にまとめた通産省資源エネルギー庁長官の私的懇談会「電力利用基盤強化懇談会」において商用電力系統の「高調波環境目標レベル」が定められた (6.6 kV 配電系 5% 及び特高系 3% が妥当な値であると定められた)。
- * 1990 年にまとめた (社) 電気共同研究会の高調波対策専門委員会において高調波電流の発生量の抑制目標として機器の 2000 年までの普及率、



IEC 141201

Fig. 3 Flow-chart for determining conformity.

需要予測などを考慮して 1990 年時点から、総量で家電・汎用品は 25%抑制、特定需要家は 50%抑制することが示された。

- * 1990 年 9 月に (社) 日本電気協会に高調波専門部会が設置され、家電・汎用品に対する高調波抑制ガイドラインの作成が進められた。前記の総量 25%抑制を考慮し、また当時の GATT Standard Code にしたがって国際規格との整合を考えながらガイドラインが作成された。

IEC 61000-3-2 第 1 版 (1995) の案の段階から IEC 規格に整合して機器の分類、発生限度値を考慮し、さらにこれに改善試験法を加えた「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」が通産省公報 1994-9-30 及び通産省資源エネルギー庁公益事業部長名の書簡で発行され、その後の改訂のための公報 (1997)(1999) 及び書簡 (1997)(1999)(2000) を含めて高調波抑制対策が業界自主対応の方法で実施されている。

- * IEC 61000-3-2 第 1.2 版 1998-04 迄は、IEC 規格との整合を検討済みで日本の同上のガイドライン (初版-通産省公報 1994-9-30, 修正 1-同 1997-10-13, 修正 2-同 1999-10-15, 修正 3-通産省通達 2000-12-19) に検討結果が反映されているが、IEC 61000-3-2 の第 2 版並びに第 2.1 版への整合、第 3 版作成その他の関連規格の作成状況と内容を見定めつつ改めて再確認が行われ、日本の状況を考慮しながらガイドラインの内容の改善と IEC との整合が進められる。

- * さらにこのガイドラインの内容による IEC 61000-3-2 のフォーマットの JIS 化検討が進められる。

- * この家電・汎用品高調波抑制対策ガイドラインに関する審議は、IEC SC77A の審議と共に SC77A 国内委員会にて行われている。

6 日本における高調波レベルと障害発生状況 [13]

次に電気事業連合会が 2001 年 4 月 23 日にまとめて 2001 年 6 月の IEC SC77A 国内委員会において広報した高調波関連の資料を紹介する (電力会社への報告・問い合わせにより把握された範囲内の集約結果である)[13]。

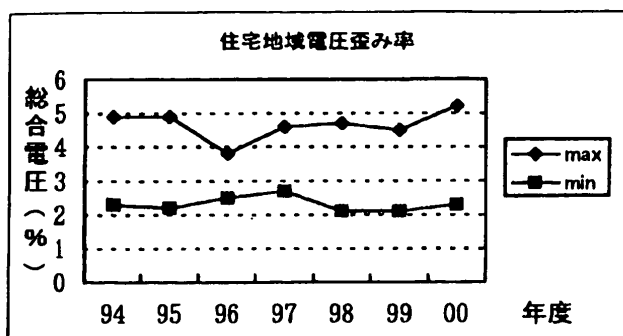


Fig. 4 The transition as years of the harmonic voltage distortions in the residential area.

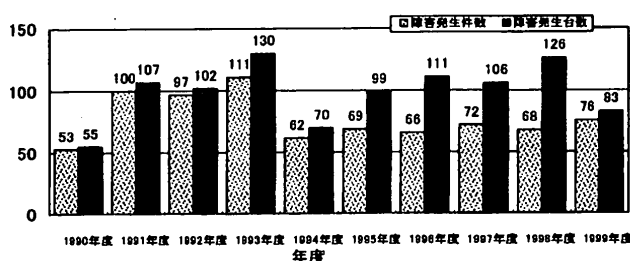


Fig. 5 Number of trouble occurrences (black) and number of individuals involved in the troubles (grey) as years from 1990 to 1999.

Table 3 The itemized state of trouble occurrences in 1999.

①機器別障害発生台数

発生機器	台数 (台)	構成比 (%)
調相設備(コンデンサ)	29	35
調相設備(リアクトル)	35	42
家電・汎用品	5	6
その他	14	17
計	83	100

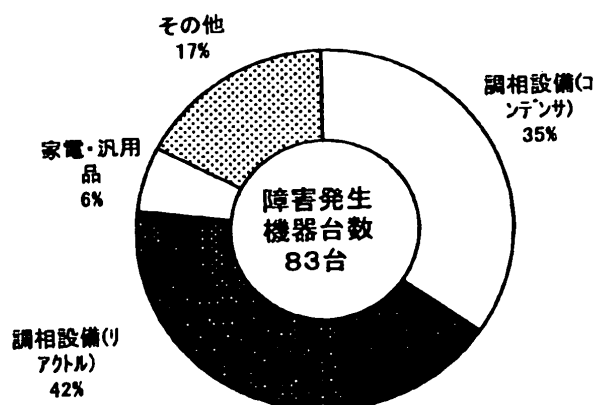


Fig. 6 The itemized distribution ratio of trouble occurrences in 1999.

Fig.4 は、住宅地における高調波電圧ひずみ率の1994年から2000年までの年度推移を示す(監視点における最大値の最大 max と最大値の最小 min を記載)。

Fig.5 は、年度ごとの障害発生件数(黒塗り)と障害発生台数(薄塗り)である。

Table 3 と Fig.6 は、1999年度における機器別障害発生状況である。

7 まとめ

1. 家電・汎用製品によって発生する高調波電流が高調波問題に影響するのは、各製品からの高調波電流の重畳による場合である。
2. 家電・汎用製品から発生する高調波電流の重畳性を検討するため、前記3の「高調波問題発生要素」を調べる。
 - ・ 入力電流波形とその位相の類似性と安定性
 - ・ 機器の使用モードの類似性(同時使用性)
 - ・ その製品の使用密度
 - ・ 各製品からの高調波発生比率
3. 家電・汎用製品の高調波電流発生抑制対策は、個々の製品に設計段階から適用される。
しかし、技術と費用低減の進歩により各家屋への電力の入力点で家屋からの発生対策をする方法も今後可能性があろう。
4. 高調波の影響を受ける機器・装置・設備の高調波に対する耐性(イミュニティ)を高める方法を、技術と費用低減の進歩を含めて電力側でも実施されることが望ましい。
5. 電力系統自身の改善が今後望まれる。
電力系統は一種のネットワークであり、端末機器の状況によりネットワーク内部が影響を受けたり、端末機器に特殊な特性を要求するのは、一般的に言って本来ネットワークの品質が不良であることを意味している。

参考文献

- [1] IEC 555-2(1995年以降規格番号呼称の変更で IEC 60555-2), 家庭用機器及び同様の電気機器によって電力系統に生じる妨害, 第2部: 高調波, (1982)[改訂1(1995), 改訂2(1998), 改訂3(1991)を含む].
- [2] IEC 1000-2-2(後の IEC 61000-2-2), 一般低電圧電力系統における低電圧伝導妨害と信号搬送のための両立性レベル, (1990).

- [3] 正田, 坂下, 他, 電源系統における高調波ひずみ規制と対策・測定技術, トリケップス, (1993).
- [4] 原田, 坂下, 他, スイッチング電源の高調波対策, 日刊工業新聞社, (1997).
- [5] IEC 61000-3-2 第1版, EMC-第3-2部: 限度値-高調波電流エミッションの限度値 (16A/相以下の入力電流の機器), (1995).
- [6] IEC 61000-3-2 第2版, EMC-第3-2部: 限度値-高調波電流エミッションの限度値 (16A/相以下の入力電流の機器), (2000-08).
- [7] IEC 61000-3-2 第2.1版, EMC-第3-2部: 限度値-高調波電流エミッションの限度値 (16A/相以下の入力電流の機器), (2000-10).
- [8] IEC 61000-3-4, 入力電流 16A を超える機器から発生する高調波に関する問題を解決するためのガイドライン, (1998).
- [9] IEC 77A/363/CD, EMC-第3-12部: 75A/相以下の入力電流を有する一般低電圧系統に接続される機器及び接続制限を受ける機器によって生じる高調波電流の限度値 (IEC 61000-3-12 の案), (2001-11).
- [10] Ardito 29, IEC 77A/WG1 Milano 会議 2001-10-25,26 議事録案.
- [11] 通産省公報 (1994-9-30, 改訂 1-1997-10-13, 改訂 2-1999-10-15), 家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン及び同改訂について (お知らせ).
- [12] 通産省資源エネルギー庁公益事業部長名 書簡 (2000-12-19), 家電・汎用品高調波抑制対策ガイドラインの制定について: 平成 12 年 12 月版.
- [13] 電気事業連合会, 高調波電圧歪み率測定結果の推移, 障害発生件数・台数 (2001 年 4 月 23 日), 家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン実施状況報告, 平成 13 年 6 月 SC77A 国内委員会配付資料, p.7, p.9.