

加速器施設における耐放射線性 LED 照明の実証試験

DEMONSTRATION TEST OF RADIATION-RESISTANT LED LIGHTING AT ACCELERATOR FACILITY

上川将章^{#,A)}, 白形政司^{B)}, 米本和浩^{A)}, 泉敬介^{A)}

Masaaki Kamikawa^{#,A)}, Masashi Shirakata^{B)}, Kazuhiro Yonemoto^{A)}, Keisuke Izumi^{A)}

^{A)} KANDENKO CO., LTD

^{B)} KEK/J-PARC

Abstract

Accelerator facilities, nuclear fusion facilities, nuclear reactor facilities, etc. have areas that will be under high radiation environments. The radiation resistance test of equipment and materials that can be applied under these circumstances is generally evaluated by gamma ray irradiation test. However, in a facility having a proton accelerator, not only gamma rays having a wider energy width but also radiation complex environments in which high energy charged particles such as protons and π mesons and neutrons directly fly. In this report, we installed "Radiation-resistant LED lighting" developed by our company in radiation facilities such as J-PARC. We report the present condition and the method of demonstration test.

1. はじめに

加速器施設・核融合施設・原子炉施設等は、高放射線環境下になるエリアを有する。このような高放射線環境下では、電気設備の多くは寿命が著しく短くなり、照明設備も例外ではない。近年、照明設備の主体となっている LED 照明は、本格的な普及がここ数年(とりわけ、東日本大震災以降)であることや、半導体機器であることから耐放射線性が低く、放射線環境下での利用事例はない。これらの環境下でも適応できる機器や材料の耐放射線性試験は、ガンマ線照射試験で評価することが一般的である。しかし、陽子加速器施設では、ガンマ線だけでなく、陽子や π 中間子、中性子などの放射線複合環境であり、ガンマ線照射試験下とは環境が異なる。

弊社は、これまでに放射線環境における電気設備の研究開発を行ってきた。その一つとして、耐放射線性を有する LED 照明やステッピングモータ等の開発・評価を行っている。J-PARC は、運用から 10 年以上経過しており、この間、照明設備の省エネ化や、地球環境を保護する水銀条約が採択された。例えば、照明設備については、水銀条約の関連で 2021 年以降から水銀灯の製造・販売が禁止になる。加速器トンネル内での照明設備は、水銀灯か蛍光灯であるため、水銀灯を用いた施設での運用が厳しくなり代替の照明が必要になる。本報告では、放射線複合環境下である陽子加速器施設に、耐放射線性 LED 照明器具を設置している試験経過と実証試験の方法について報告する。

2. ガンマ線における耐放射線性試験

2.1 電気設備における耐放射線性試験

先述した通り、弊社では放射線環境における電気設備の研究開発を行ってきた。例えば、照明設備、誘導電動機、ステッピングモータ、大電流バスダクト、気密

区画貫通工法などがある。これらの耐放射線性試験は、コバルト 60 を放射線源としたガンマ線照射試験によって行っている。施設は、(国)日本原子力研究開発機構(現:(国)量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 以下「高崎研」と言う。)のコバルト 60 施設を利用して行った。

中でも、耐放射線性の照明設備の研究開発については、1993 年頃から種類・仕様の異なった照明器具をガンマ線環境下で照射し、ガンマ線吸収線量 100MGy に到達するまで耐放射線性試験を行っている。[1]

この知見を得て、高崎研の第 2 照射室に設置している HID 照明は、弊社らが研究開発を行っていた、耐放射線性照明器具(HID 灯)を今なお活用している。[2]

2.2 耐放射線性 LED 照明器具の研究の背景

東日本大震災を機に、省エネ意識の高まりを背景に、エネルギー消費効率に優れた LED 照明の需要が急激に拡大し、照明市場もそれに連なる形で拡大してきている。しかし、放射線環境下で適用されている事例はない。

耐放射線性 LED 照明器具(以下本器具と言う。)の開発は、高放射線環境下での適用だけでなく、福島第一原子力発電所の炉心周辺への適用を考慮して開発をした。開発効果として、廃炉作業等高放射線環境下におけるメンテナンス頻度の低減による人体被ばくの低減および、放射性廃棄物の減容化にも貢献できるものと考えている。

製品の開発に向けて、3 段階のステップで実証試験を行った。

第 1 段階目は、汎用品の LED 照明器具へガンマ線照射試験を行い、基礎データを収集した。[3]

第 2 段階は、この知見を生かし、本器具の製作に向けた試作器具を製作し、高温・多湿環境下での適用にむけた恒温恒湿試験やガンマ線照射試験を行った。[4]

第 3 段階は、形状をコンパクトに、素子の配置を変更、光束を増力し、電気用品安全法(PSE マーク)に適合した本器具を製作しガンマ線照射を行った。[5]

[#] kamikawa-m01@kandenko.co.jp

本器具の外観を Fig. 1 に、概要を Table 1 に示す。
器具の特長は以下である。

- (1) 電源別置型である。
- (2) 高放射線環境下でも省エネ、長寿命で、演色性の低下率が少ない。
- (3) 電源部は、電圧フリー (100V ~ 242V) の為、リニューアルにも対応可能である。
- (4) 放射性廃棄物の減容化に貢献できる。
- (5) 防塵・防水仕様 (IP65 相当) である。

実証試験結果 (Fig. 2) において、ガンマ線吸収線量 2MGy の高放射線線量下でも初期全光束の 70% 以上を維持することができた。



Figure 1: Radiation-resistant LED Lighting.

Table 1: Lighting Specification

Luminous Flux	3,100lm (more than)
Input Voltage	AC 100-242V
Output Current	DC 300mA (Constant current)
Output Power	40W
IP	IP65
SIZE (mm)	L300×W300×H80
Weight (kg)	About 5kg
Cable	PEEK-SUS-2sqqa-3C
Others	Separated Converter

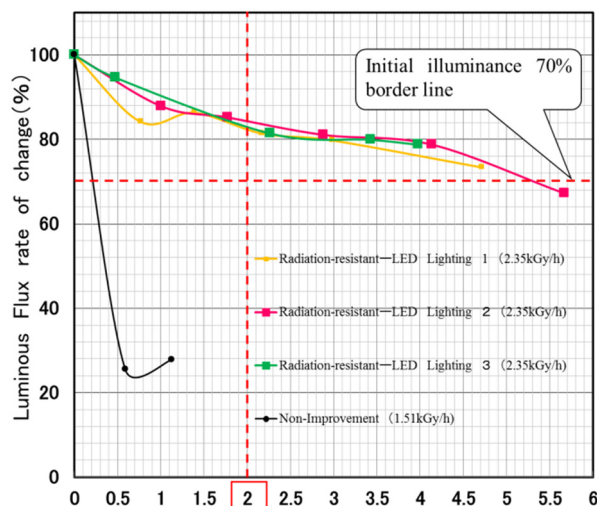


Figure 2: Luminous Flux change rate.

3. 照明設備の市場の動向

3.1 水銀条約

2013 年我が国がホストを務めた「国連環境計画 (UNEP) 主催の外交会議において、「水俣条約 (Minamata Convention on Mercury)」が採択された。

我が国では、2016 年 2 月に「水銀に関する水俣条約」締結の閣議決定がなされた。この結果、照明設備においては、高圧水銀ランプの製造・輸出・輸入を 2021 年以降禁止となる。一方、ナトリウムランプやメタルハライドランプは、今後も継続して製造・販売をされる。しかし、製造コストの問題や環境に配慮する観点から、近い将来に製造が中止される懸念がある。そのため、水銀灯だけでなく、他の照明も含め代替となる照明が必要となる。

3.2 J-PARC における照明設備

J-PARC の建設時期は、2000 年頃から概念・実施設計が行なわれ、2001 年頃から工事が着手された。この当時の照明設備は、放電灯 (HID 灯)・蛍光灯対応が主流である。その中でも、当時水銀灯や蛍光灯を選定しているのは、先述した 100MGy の照射試験の学術発表を参考としているものと考えられる。

4. 加速器における実証試験

4.1 器具の配置検討計画

MR トンネルにおける実証試験において器具の配置は、残留ガンマ線による被曝の軽減の観点から以下の内容を考慮した。Fig. 3 にトンネル内器具平面配置図を示す。

- (1) ビーム試験中の線量率は高いが、設置作業時や照度測定時の空間線量は、人体被曝の影響をほとんど受けない程度の線量率のエリアであること。
- (2) 照度測定時は、出来るだけ短時間で行うことができ、かつ定点で測定出来ること。
- (3) MR トンネルから放射線がほとんど届かないエリアである D1 サブトンネル内に、コンバータや計測用の測定機器の配置が可能なこと。

- (4) D1 サブトンネルに設置する測定器とパソコンは、データ収集時に持参するノートパソコンから遠隔で操作できる距離であること。

4.2 器具の配置

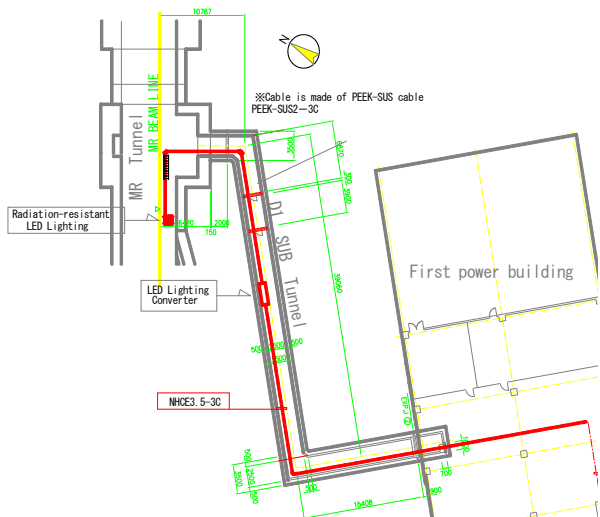


Figure 3: MR tunnel layout diagram

本器具の構成は、光源部と電源部が別置型となっている。これは電源部が放射線の影響を受けないように考慮したものである。器具の配置は、J-PARC MR トンネル内に光源部を設置し、電源部は、D1 サブトンネルに設置した。

4.3 実証試験方法

測定項目は、MR トンネル内では、照度測定試験、線量率測定を実施している。照度測定は、2016 年 9 月に

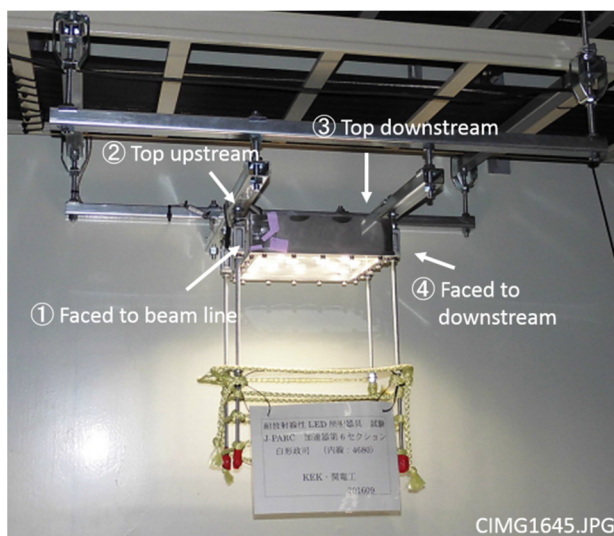


Figure 4: Arrangement of aluminum plates and OSL dosimeters. Four plates and dosimeters are set on the Radiation-resistant LED Lighting.

器具を設置し、その時の測定値を初期値とし、この変化率で評価を行っている。器具は、常時点灯状態としている。また、LED 素子直下の照度が測定出来るように、器具ガラス面の直下 225mm にステンレス板を設けた。照度作業台であるステンレス板には、LED 素子の位置と照度計が重なるように型取りを行うことにより、定点照度測定が可能となる。

線量計の設置状況を Fig. 4 に示す。光源部の線量率の測定は、ガンマ線の測定には OSL 線量計を用いた。中性子線量は、アルミ板内のナトリウム 22 を測定することで測定が可能である。線量計の設置は、OSL 線量計を 4

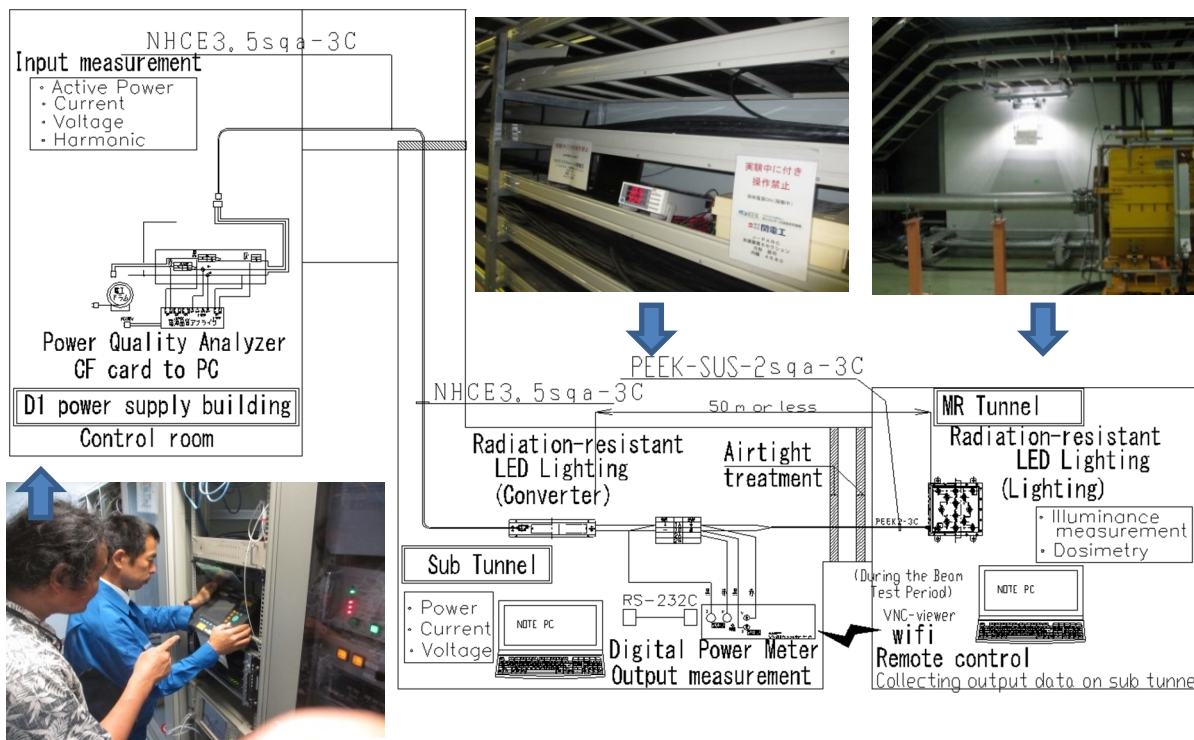


Figure 5: Conceptual system diagram

個とアルミ板 4 枚である。線量計は、器具の上部や側面に設置し、定期的に線量計を交換し、積算線量を計測している。

D1 サブトンネルは、放射線が直接飛来するエリアではないが、このエリアの空間線量を知る上でコンバータに OSL 線量計を 2 個設置した。

試験概念系統図と各エリアの写真を Fig. 5 に示す。出力データ(電力・電流・電圧)の計測は、デジタルパワーメータとデータ収集用の PC を D1 サブトンネルに常設し、常時計測を行っている。ビーム試験時における出力データの収集は、D1 サブトンネル下流の二重扉付近にて遠隔操作の PC を持参し、D1 サブトンネル内に常設している PC と wifi 通信にて、リモート操作(VNC-Viewer)で行っている。

入力データ(電力・電流・電圧)の測定は、第 1 電源棟制御室に電源品質アナライザを設置し常時計測を行っている。この測定データは、本体・CF カードにデータが蓄積される。データの収集は、概ね毎月 1 回程度実施し、これまでのデータとの変化を確認している。

4.4 試験経過

MR トンネルの空間線量率は、J-PARC の放射線管理室が定期的に測定している。概ねビーム運転停止 4 時間後の空間線量率を Fig. 6 に示す。GV>Q012>Q013>Q014 の関係にあり、器具の場所は、Q012 に相当する。Q012 の測定点は少ないが、長期停止期間を除き、50~150 μ Sv/h の残留ガンマ線量が放出している環境であることがわかる。Fig. 7 にガンマ線積算線量の推移を示す。照度の変化率については、Fig. 8 に示す。本器具は、このような放射線複合環境中、一般環境時における照度低下予測線とほぼ同じ傾向にある。これは、ガンマ線吸収線量が 600~800 Gy 程度であるのでガンマ線による影響はほとんど受けていない。

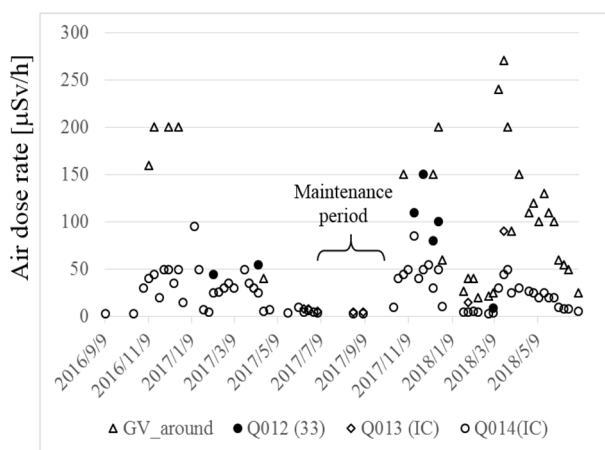


Figure 6: Residual dose rate at four hours after beam stop.

D1 サブトンネル内に設置したコンバータ部の線量結果を Table 2 に示す。毎時線量に換算すると、0.09~0.11 μ Gy/h である。東海村内に設置している放射線モニタの計測値と比べ、2 倍程度の線量率があるように見える。[6] これは、コンクリートからの自然放射に加え、ビーム由来のガンマ線がごく僅かに届いていると考えられる。従って、D1 サブトンネル内の空間線量は、年間を通して

平均的にバックグラウンドレベルと評して良いと考える。このことは、D1 サブトンネル内に設置しているコンバータや電子計測機器(PC、デジタルパワーメータ)が健全であることに裏付けられる。

入力データと高調波電流は、電源品質アナライザを用いて計測し、測定時の画面を Fig. 9 に示す。LED 照明用の電源(コンバータ)の高調波電流は、JIS 規格で規制されており、最も厳しい規制で「Class-C」の有効入力電力が、25W を越える機器の場合に属する。[7] 放射線複合環境下においても高調波電流は、JIS で規制している相対的限度値以内であった。

2016 年 9 月から 2018 年 7 月までの試験経過の概要を Table 3 に示す。

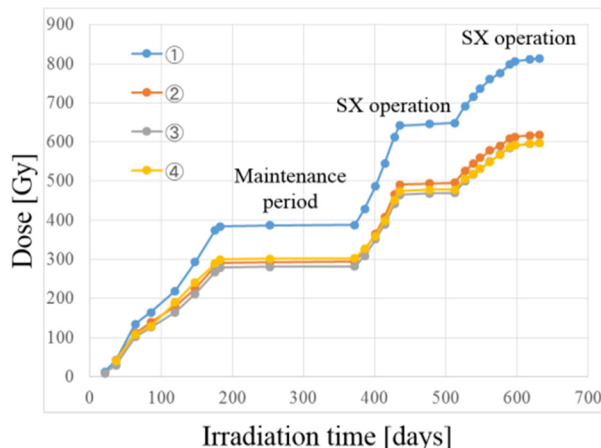


Figure 7: Exposed doses on the OSL dosimeters.

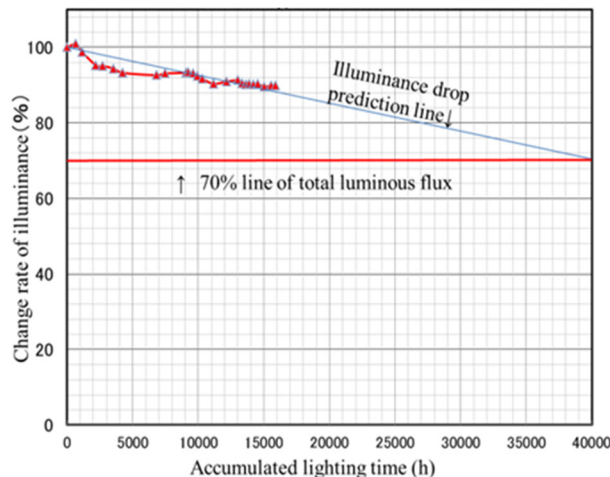


Figure 8: Illumination change rate of LED Lighting.

Table 2: Gamma Ray Dose Around the Converter

Measurement period	September 14, 2016 ~ September 13, 2017
OSL dosimeter	OSL1: 1.002mGy, OSL2: 0.827mGy (Does not include offset value)
Dose rate	0.09~0.11 μ Gy/h

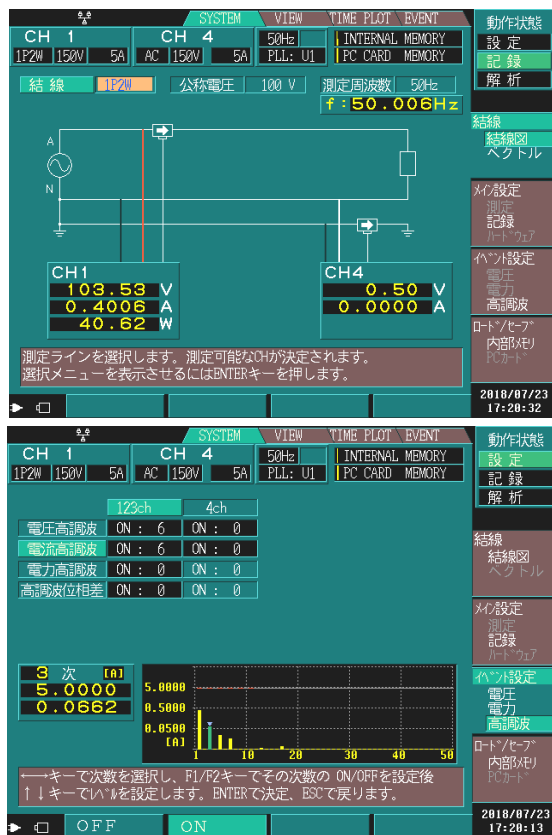


Figure 9: Input data and Harmonic current (Measured with power quality analyzer).

Table 3: Overview of Progress

Period (under experiment)	September 2016 ~ July 2018 (ongoing)
Cumulative time	15,900 hours
Gamma ray absorbed dose	600 Gy ~ 900 Gy
Density of neutron flux (Na-22 measured of Al plate)	6 Bq/cc 1.9e+13cm ⁻²
The remaining gamma dose (Around the LED Lighting)	50~150μ/h
Reduction rate of illuminance	10%

5. まとめ

放射線複合環境下である陽子加速器施設 J-PARC に、耐放射線性 LED 照明器具を設置している試験経過と実証試験の方法について報告した。本器具は 2016 年 9 月に設置し、現在も正常に点灯中である。本器具は、中性子線やガンマ線が飛来する放射線複合エリアでも、一般環境時における照度低下予測線とほぼ同じ傾向にある。このことは、陽子加速器で十分適用出来ると考えて良い。今後も実証試験は継続し経過観測を確認する。今後は、本試験データや実験手法を生かし高光束を有する耐放

射線性 LED 器具を開発し、水銀灯の代替照明として活用出来ればと考えている。

参考文献

- [1] 岡田正男、船橋和夫、大川慶直、村野佳大、森田洋右、岡田健一、八木敏明、浅沼孝一、“核融合環境における電気設備(その 33)γ線環境下に於ける照明器具の点灯実験(100MGy)”電気設備学会 平成 12 年度講演論文集 P72.
- [2] T.Tsuchida, R.Yamagata, H.Seito, Y.Haruyama, H.Kaneko and S.Kashimura, "Development of Radiation-Resistant Lighting" JAEA Takasaki Annual Report 2010 P27.
- [3] M.Kamikawa, K.Oka, R.Yamagata, M.Kawasaki and K.Izumi, "Study of Radiation-resistant LED Lighting" JAEA Takasaki Annual Report 2012 P28.
- [4] M.Kamikawa, K.Oka, R.Yamagata, K.Izumi, J.Takemoto and M.Kawasaki, "Development of Radiation-resistant LED Lighting" JAEA Takasaki Annual Report 2013 P34.
- [5] M.Kamikawa, K.Oka, R.Yamagata and K.Izumi, "Improvement of Radiation-resistant LED Lighting" JAEA Takasaki Annual Report 2014 P30.
- [6] 東海村の大气線量;
<http://www.houshasen-prefibaraki.jp/present/map.html>
- [7] JISC61000-3-2:2011, 電磁両立性-第 3-2 部: 限度値-高調波電流発生限.