

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年7月24日(24.07.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/112257 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 31/12 (2006.01) G01R 31/00 (2006.01)
G01N 21/67 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/083320
- (22) 国際出願日: 2013年12月12日(12.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-004497 2013年1月15日(15.01.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人九州工業大学(KYUSHU INSTITUTE OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 大塚 信也(OHTSUKA, Shinya); 〒8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内 Fukuoka (JP). 山口 裕貴(YAMAGUCHI, Yuki); 〒8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内 Fukuoka (JP). 津端 裕之(TSUBATA, Hiroyuki); 〒1608316 東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士重工業株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 大川 謙(OHKAWA, Yuzuru); 〒1130022 東京都文京区千駄木3-50-14-305 開明国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロピア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,

[続葉有]

(54) Title: NON-CONTACT DISCHARGE TEST METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 非接触放電試験方法及び装置

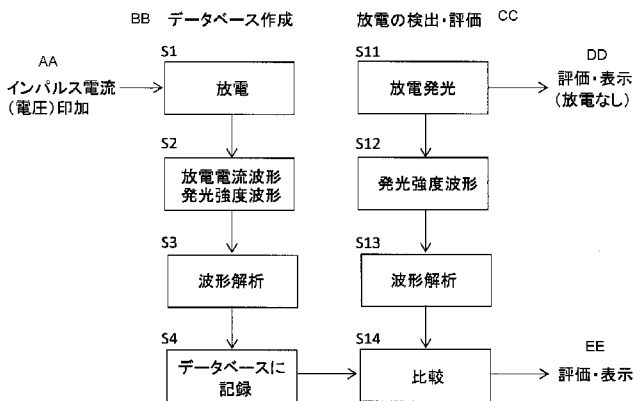


FIG. 1:
 S1 Discharge
 S2 Discharge electric current waveform, light emission intensity waveform
 S3, S13 Waveform analysis
 S4 Record in database
 S11 Discharge light emission
 S12 Light emission intensity waveform
 S14 Comparison
 AA Application of impulse electric current (voltage)
 BB Database creation
 CC Discharge detection and evaluation
 DD Evaluation and display (no discharge)
 EE Evaluation and display

(57) Abstract: Weak emitted light is detected and a light emission intensity waveform is processed to thereby evaluate discharge energy in a non-contact discharge test carried out in a poor electromagnetic noise environment. Voltage and electric current are applied to an object to be measured to thereby measure light emission intensity waveforms in which light is emitted by discharge using a light emission measurement device, electric current waveforms of the discharge are measured at the same time using an electric current measurement device, and a database is created in which a record of the relationship with analysis data obtained by analyzing the waveforms is recorded on the basis of application power source information applied to the object to be measured. The intensity waveform of light emitted by discharge generated from the object to be measured is measured with reference to the electromagnetic waves generated by discharge of an object to be measured. The light emission data obtained by analyzing the intensity waveform is compared with the data recorded in the database to thereby estimate the magnitude of discharge as a value.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/112257 A1



NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI 添付公開書類:
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
MR, NE, SN, TD, TG).

電磁ノイズ環境の悪い中で行う非接触放電試験において、微弱な発光を検出して、放電の発光強度波形を処理することで放電のエネルギーを評価する。測定対象に電圧や電流を印加することにより放電の発光をさせた発光強度波形を発光測定器を用いて測定し、同時に放電の電流波形を電流測定装置で測定して、それらの波形を解析した解析データとの関係を、測定対象に印加した印加電源情報に基づいて記録したデータベースを作成する。測定対象の放電によって発生した電磁波を基準にして、測定対象から発生した放電の発光の強度波形を測定する。この強度波形を解析することにより求められた発光データを、データベースに記録されているデータと比較することにより、放電の大きさを値として推定する。

明 細 書

発明の名称：非接触放電試験方法及び装置

技術分野

[0001] 本発明は、測定対象の放電或いはスパークを、それに基づく発光現象を光学測定することにより非接触で評価する非接触放電試験方法及び装置に関する。

背景技術

[0002] CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を主翼や機体構造に持つ新しい航空機は、例えば主翼に落雷があった場合、CFRPに取り付けてあるファスナ（金属製の締付けボルト）で放電（＝ボルテージスパーク）或いはスパーク（＝サーマルスパークやアーク）が発生すると、翼内に蓄えられている燃料に引火し爆発の危険性があるため、放電発生抑制が重要となっている。引火発生のしきい値は、放電エネルギーが200 μ Jであるとされている（規格あり）。

[0003] このような新しい部材について、開発技術の有効性や健全性を評価する試験が必要であり、これが耐雷試験である。航空機の耐雷試験の一つに、雷インパルス電流印加時に放電或いはスパーク発生有無の評価項目がある。この試験では、雷撃を模擬した波形でピーク値が数10kA～200kAの大きな電流を試料に通電することになる。

[0004] 従来（規格）は、フィルムカメラによる発光像の測定であり、入力エネルギーが200 μ Jで発光がフィルムに写っているかどうかで評価していた。そのため、対象観測物が見通せる場所へカメラを設置する必要があることや、複数の場所を評価するために複数台のカメラを設置する必要があり、設置場所の確保が困難であった。さらには、フィルムのISO感度やレンズのF値の指定はあるが、発光のエネルギーの定量的な評価は原理的に困難であることなどが問題であった。カメラが設置できない場合は、水素ガスを含む混合ガスを充填して爆発検査が実施されているが、この場合、爆発があってもその発生場所が特定できない課題もあった。

[0005] そのために、航空機の耐雷試験において、放電或いはスパークの有無や、有りの場合はそのエネルギーを評価する発光検出技術の開発が望まれている。特許文献1は、航空機の耐雷試験ではないが、ガス絶縁機器内部の部分放電発光を、発光検出器（受光素子）により、検出し、評価する技術を開示している。この発光検出器には、部分放電発光（特に300nm～600nmの波長領域）の検出感度が高い受光素子、例えば、光電子増倍管(PMT)、或いは高感度のフォトダイオードを用いる。受光素子の出力は測定装置（例えば、オシロスコープなどの波形観測装置）で観測する。

[0006] しかし、耐雷試験では、試料の、特にファスナF付き試料の場合は、ファスナ周辺からの放電或いはスパークを計測するために、ガス絶縁機器内部の部分放電発光の検出とは異なり、雷撃を模擬した波形でピーク値が数10kA～200kAの大きな電流を試料に通電することになるので、電磁ノイズ環境の悪い中で実施する必要性がある。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2010-101671号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 非接触放電試験、例えば、航空機の耐雷試験において、発光測定器を用いて放電或いはスパークの有無や、有りの場合はそのエネルギーを評価する際に、遠隔に分離してシールド配置した複数の計測器の同期計測を行う必要があり、それを実現する手段が求められていた。

[0009] 本発明は、係る問題点を解決するために、電磁ノイズ環境の悪い中で行う非接触放電試験において、微弱な発光現象を検出して、放電或いはスパークの発光強度波形を処理することで放電或いはスパークのエネルギーを評価することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の非接触放電試験方法は、測定対象の放電或いはスパークを、それに基づく発光現象を光学測定することにより非接触で評価する。測定対象に既知の電源より電圧或いは電流を印加或いは通電することにより放電或いはスパーク発光させ、この発光の強度を示す強度波形を発光測定器を用いて測定し、同時に放電或いはスパークの電流波形を電流測定装置で測定して、それらの波形を解析した解析データの間接関係を、測定対象に印加或いは通電した電源の電圧或いは電流情報に基づいて記録したデータベースを作成する。測定対象の放電によって発生した電磁波を検出して、該電磁波を放電或いはスパーク発生のタイミング基準にして、測定対象から発生した放電或いはスパークの発光の強度波形を、発光測定器と同一若しくは同一種の発光測定器を用いて測定する。この測定した放電発光の強度波形を解析することにより求められた発光データを、データベースに記録されているデータと比較することにより、放電或いはスパークの大きさを値として推定する。発光測定器及び電流測定装置はそれぞれ、シールドして配置する。

[0011] 本発明の非接触放電試験装置は、測定対象に既知の電源より電圧或いは電流を印加或いは通電することにより放電或いはスパークの発光をさせ、この発光の強度を示す強度波形を、シールドして配置された発光測定器を用いて測定し、同時に放電或いはスパークの電流波形を、シールドして配置された電流測定装置で測定して、それらの波形を解析した解析データの間接関係を、測定対象に印加或いは通電した電源の電圧或いは電流情報に基づいて記録したデータベースと、測定対象の放電或いはスパークによって発生した電磁波を検出するアンテナと、このアンテナにより検出された電磁波を放電或いはスパーク発生のタイミング基準にして、測定対象から発生した放電或いはスパークの発光の強度波形を、発光測定器と同一若しくは同一種の発光測定器を用いて測定して、その波形強度を取得する波形強度取得装置と、波形強度取得装置により取得した波形強度を解析する波形解析部と、波形解析部での解析により求められた発光データを、データベースに記録されているデータと比較することにより、放電或いはスパークの大きさを値として推定する比較

部と、推定した結果を表示する表示部と、から構成される。

[0012] 既知の電源としてインパルス電源を用いて放電発光させ、電源の電圧或いは電流の情報を電圧或いは電流検出器を用いて検出する耐雷試験を行うことができる。

[0013] 放電の大きさは、放電或いはスパークの電流のピーク値、放電或いはスパークの電流の積分値である電荷量、或いは放電或いはスパークのエネルギー値である。放電或いはスパークの大きさを、測定した光強度波形のピーク値或いは光強度波形の面積で評価する。発光測定器は、光導波路を用いて測定対象に対向配置することができる。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、例えば、航空機の耐雷試験において、非接触放電試験を電磁ノイズ環境の悪い中で、微弱な発光を検出して、放電或いはスパークの発光強度波形を処理することが可能になる。これによって、放電或いはスパーク発光の検出とそのエネルギー評価技術を、実際の航空機の耐雷試験に適用できるようになる。さらに、発光像や発光以外の電磁波信号を同時に取得することにより、どこでどのような放電（スパーク）がいつ発生したかをフィルムの写真などを待たずに瞬時に評価できる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明に基づく非接触放電試験方法を説明する動作説明図である。

[図2]波形の定義を説明する図である。

[図3]本発明に基づき構成した非接触放電試験装置の回路構成図である。

[図4]図3に示されている波形解析部、データベース、比較部、及び評価・表示部の詳細図である。

[図5]光導波路（光ファイバー）使用時の特性例を示す図であり、（A）は放電発光強度と放電電流の関係を示し、（B）は放電発光積分値と放電電荷量の関係を示している。

[図6]発光強度波形のピーク値 L_p や発光強度積分値 L_q などの発光信号を放電電流ピーク値と同時に測定して、この特性から L_p や L_q から放電電流ピーク値 i_p

の推定を説明する図である。

[図7]図6と同様に、発光強度波形のピーク値 L_p や発光強度積分値 L_q などの発光信号を放電電荷量と同時に測定して、この特性からピーク値 L_p や積分値 L_q から放電電荷量 q の推定を説明する図である。

[図8]図6や図7と同様に、発光強度波形のピーク値 L_p や発光強度積分値 L_q などの発光信号を放電エネルギーと同時に測定して、この特性から放電エネルギー E の推定を説明する図である。

[図9]本発明を耐雷試験装置に具体化した例を示す概略構成図である。

[図10]図9に示す耐雷試験装置で観測された各種波形を示すグラフである。

[図11] (a) ~ (c) はそれぞれ雷インパルス電流値を変えて測定した発光像写真と発光強度波形のグラフを示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、例示に基づき本発明を説明する。本発明は、最初に、使用する発光測定器毎に、光信号（少なくとも、光強度波形のピーク値 L_p 、光強度波形の面積 L_q ）と放電の大きさ（放電電荷量 q や放電電流ピーク値 i_p 、放電エネルギー E ）の相関を示すデータベースを、印加電源情報（少なくとも、印加電圧値や極性、放電発光の発生時の瞬時電圧や発生時間（或いは位相））を考慮して作成する。本発明は、このように作成したデータベースに記録されているデータを用いて、放電或いはスパークの電流波形が測定できない状況における、例えば耐雷試験において、発光強度波形を計測することで、放電或いはスパークの電流の積分値（電荷量）やその積分値に電圧をかけたエネルギー量を、データベースに記録されたデータに基づき求める。

[0017] 図1は、本発明に基づく非接触放電試験方法を説明する動作説明図である。まず、データベースを作成するために、ステップS1において、試験用の放電源に、電源情報が既知の電源より雷インパルス電圧を印加することにより放電発光させる。耐雷試験（雷撃試験）においては、雷インパルス電流を対象として、電源は電流源LI_{CG}、及びその電流を検出する電流検出器CTになる。インパルス電源の場合、極性は既知であるが、どのタイミングで放電或

いはスパークが発生したかを知る必要がある。さらに、本発明は、インパルス電源だけではなく、交流や直流等、各種電源を用いることもできる。この場合、電流検出器CT或いは電圧検出器は、電圧や電流、極性を含む電源情報を測定する。

[0018] ステップS 2において、発光測定器を用いて放電発光の強度波形と同時に、数GHzまでの周波数応答を有する電流変換プローブCTや電流波形検出器などを用いて放電電流波形を測定する。

[0019] ステップS 3において、それらの波形を解析し、ステップS 4において、解析データの光強度波形のピーク値 L_p や光強度波形の面積（積分値） L_q と放電の大きさ（放電電流ピーク値 i_p や放電電荷量 q 、或いは放電エネルギー E ）の関係を、印加電源情報を考慮して使用する発光測定器毎、及び対象とする放電環境毎に作成して、データベースに記録する。

[0020] 次に、データベースに記録されているデータを用いて、測定した発光データから放電の大きさ（放電電流ピーク値や放電電荷量、および放電エネルギー）の評価を行ない、それらの値を推定する。ステップS 11において、耐雷試験（雷撃試験）などの試験において放電源から発生した放電発光を検出する。放電なしの場合は、評価はせず、放電発生がないことを表示する。本発明は、航空機の耐雷試験に使用できるが、それに限らず、電力機器や電気電子機器、或いは電気自動車などの電気で駆動や制御される電気エネルギー機器の放電試験や電気絶縁異常のモニタリングにも使用することができる。ステップS 12, S 13においては、データベース作成の際に用いた発光測定器と同一若しくは同一種の発光測定器を用いて放電発光の強度波形を測定して、その波形を解析する。この解析により求められた発光データを、ステップS 14において、データベースに記録されているデータと比較することにより、放電電流ピーク値 i_p 、放電電流の積分値である放電電荷量 q 、放電エネルギー E の値を推定する。

[0021] 図2は、波形の定義を説明する図である。横軸は時間を示している。図中の上側には、放電電流波形を、また、下側には同時に測定した放電発光強度

波形をそれぞれ示している。本発明は、データベースに記録されているデータを用いて、測定した放電発光強度から、放電電流を評価する。具体的には、放電電流のピーク値 i_p を、光強度波形のピーク値 L_p で評価する。或いは光強度波形の面積 L_q でも評価できる。また、放電電流の積分値である電荷量 q は、光強度波形の面積（積分値） L_q で評価する。或いは光強度ピーク値 L_p でも評価できる。また、放電エネルギー E は、光強度波形の面積（積分値） L_q で、或いは光強度ピーク値 L_p で評価する。その評価の詳細は後述する。

[0022] 図3は、本発明に基づき構成した非接触放電試験装置の回路構成図である。上述したように、データベース作成の際には、試験用の放電源に対して、電源情報が既知の電源より電流（電圧）を印加する。電源は、放電試験に応じて、雷インパルス電流以外にも、交流や直流試験電圧を用いることができる。いずれの場合も、印加電圧や印加電圧極性および放電発生時の瞬時電圧や発生時間（或いは位相）は既知である。放電電流は、電流測定装置によって測定する。但し、データベース作成後の放電試験や保守運用時には、放電電流は測定せずに発光測定器による発光強度波形の測定、及びアンテナを用いての放電タイミングの測定のみとなる。

[0023] データベース作成時に、電流測定装置によって測定された放電電流は、デジタルオシロスコープAなどの波形取得装置で、波形観測するだけでなく、そのデータを取得する。この際、デジタルオシロスコープの周波数帯域とサンプリング周波数は、発光強度波形の変化に十分対応できることが必要である。例えば、周波数帯域では、300MHz以上、サンプリング周波数では1GS/s以上が望まれる。データベース作成時に用いるデジタルオシロスコープAのトリガは、放電電流や発光強度波形或いは印加電源の駆動制御信号或いは電源の波形などを用いる。静電気放電試験や雷インパルス試験においては、単発電圧或いは単発電流印加による試験であるため、それら試験器（例えば静電気放電試験であればESDガンであったり、雷インパルス試験であれば雷インパルス電圧或いは電流発生器）の駆動信号或いはその出力信号をトリガ信号として使用できる。

- [0024] 放電発光評価時に用いるデジタルオシロスコープBのトリガは、放電時に放射される電磁波をアンテナで検出し、トリガ信号として使用する。更に、交流や直流試験、或いは、上記雷インパルス試験においても、特定の時間内や交流信号であれば特定の位相での観察を対象とする場合は、その時間や位相でトリガ信号を与えるような、遅延回路やパルス発生器を用いてもよい。
- [0025] 放電発光を検出する発光測定器は、それに接続した光導波路の先端側を測定対象に対向配置する。電流測定装置によって検出された放電電流の電流波形の取得、及び発光測定器によって検出された放電発光の発光強度波形の取得は、互いに異なる場所に設置されることのあるデジタルオシロスコープAとデジタルオシロスコープBによって行われる。デジタルオシロスコープA、及びデジタルオシロスコープBと発光測定器は、それぞれシールドボックス内に設置されてシールドする。
- [0026] データベース作成のための測定と、測定対象の放電発光評価（耐雷試験）のための測定を実施する場所は、通常同じでは無い。データベースは比較的小さな電源設備で可能であるのに対して、耐雷試験は比較的大きな電源設備を必要とする。そのため、データベースの作成では、電源の情報（通常は印加電圧波形）と放電或いはスパークの電流、発光を同時にノイズの影響をそれほど受けずに一つの計測器で計測できる。即ち、図3において、デジタルオシロスコープAとデジタルオシロスコープBに機能的に分割して図示したが、データベースの作成では、一つの波形計測装置（デジタルオシロスコープ）のみで、電源の情報と放電或いはスパークの大きさの両方を取得することも可能である。これに対して、耐雷試験では、物理的配置と安全性及び電磁ノイズのため、放電或いはスパークの電流波形を測定できないのが通常である。そのため、耐雷試験では、事前に作成したデータベースを用いて、放電或いはスパークの発生時に生じる電磁波信号を取得し、その電磁波信号に基づき電源情報と同期を取りつつ、発光計測をすることにより、放電或いはスパークの大きさを求める。
- [0027] データベース作成の際、或いは測定対象の放電発光評価の際、同一の発光

測定器を用いるか、少なくとも同一種（即ち、同一特性）の発光測定器を用いて、発生した発光を検出する。発光強度に応じて、発光測定器への入力光信号を減光したり、感度を増加させることを行う。感度の増減には、発光測定器と発光源の距離を増減したり、光学フィルタを設置すること、或いは光ファイバーなどの光導波路を使用したり、発光測定器のゲインを調整することで行う。紫外から可視光領域に高い感度を有する発光測定器は、例えば光電子増倍管PMTである。発光強度が強い場合は、光電子増倍管PMTの代わりにフォトダイオードでもよい。更に発光強度が強い場合は、減光フィルタを使用する。

- [0028] データベース作成時にデジタルオシロスコープAで取得された放電電流波形データは、波形解析部Aに入力される。データベース作成の際、或いは測定対象の放電発光評価の際、デジタルオシロスコープBで取得された発光波形データは、波形解析部Aと波形解析部Bのそれぞれに入力される。アンテナを用いて検出した電磁波（GHz帯）は、デジタルオシロスコープBにトリガ信号として入力する。検出された電磁波によって、雷インパルス電源の電流或いは電圧の通電や印加が始まるタイミングがわかり、そこを基準に同期計測が可能となる。また、それにより、雷インパルス波形における放電或はスパーク発生のタイミングがわかる。
- [0029] 波形解析部Aで解析された光強度波形データと放電の大きさの関係は、データベースに記録する一方、放電発光評価時に、波形解析部Bで解析された光強度波形データは、比較部に入力される。比較部では、データベースに記録されているデータを用いて、測定した発光データから放電の大きさ（電流ピーク値や放電電荷量、および放電エネルギー）の評価を行ない、それらの値を推定する。
- [0030] 図4は、図3に示されている波形解析部、データベース、比較部、及び評価・表示部の詳細図である。放電発光強度波形や放電電流波形の値は、デジタルオシロスコープDOOSCから、波形解析部の積分回路と、ピーク検出回路に導かれる。積分回路は、発光測定器出力波形の積分値 L_q や電流変換プローブC

T或いは電流波形検出装置の出力波形の積分値 q を算出し、かつ、ピーク検出回路は、発光測定器出力波形のピーク値 L_p や電流変換プローブCT或いは電流波形検出装置の出力波形のピーク値 i_p を算出する。さらに演算回路で、積分回路からの出力 q と印加電源情報としての発光発生時の電圧値 V との積により放電エネルギー E を算出する。データベース作成時に、これら値は、データベースに記録する。

[0031] 放電発光評価時に、発光測定器出力波形のピーク値 L_p や積分値 L_q 、及びデータベースに記録されているデータにより、放電電流波形のピーク値 i_p 、その面積（時間積分値）である放電電荷量 q 、および放電エネルギー E を評価する。特に、放電電流波形のピーク値 i_p は発光測定器出力波形のピーク値 L_p で、放電電荷量 q は積分値 L_q で評価する。放電エネルギー E はピーク値 L_p と積分値 L_q のどちらでもそれほど相違はないため、どちらで評価してもよい。

[0032] 図5は、光導波路（光ファイバー）使用時の特性例を示す図であり、（A）は放電発光強度と放電電流の関係を示し、（B）は放電発光積分値と放電電荷量の関係を示している。図5（A）に示すように、放電発光強度 L_p と放電電流ピーク値 i_p は線形性が認められる。同様に、図5（B）に示すように、放電発光積分値 L_q と放電電荷量 q も線形性が認められる。

[0033] 図6は、発光強度波形のピーク値 L_p や発光強度積分値 L_q などの発光信号を放電電流ピーク値と同時に測定して、この特性から L_p や L_q から放電電流ピーク値 i_p の推定を説明する図であり、図中プロットは実測例を示し、かつ、図中ラインはデータベース作成用に修正した近似特性線である。このグラフの特性線上の各点が、表にしてデータベースに記録されている。放電電流波形のピーク値 i_p に対しては、出力波形のピーク値 L_p の方が積分値 L_q よりも線形的な対応となる。さらに物理的観点からも、放電電流波形のピーク値 i_p の推定には出力波形のピーク値 L_p を使用する方が好ましい。なお、線形的に比例していない場合でも、入力ピーク値 L_p や積分値 L_q に対する出力ピーク値 i_p の近似特性線を定式化してこの関数を求め、ピーク値 L_p や積分値 L_q の入力値に対する出力ピーク値 i_p が得られる。

[0034] 図7は、図6と同様に、発光強度波形のピーク値 L_p や発光強度積分値 L_q などの発光信号を放電電荷量と同時に測定して、この特性からピーク値 L_p や積分値 L_q から放電電荷量 q の推定を説明する図であり、図中プロットは実測例を示し、かつ、図中ラインはデータベース作成用に修正した近似特性線である。このグラフの特性線上の各点が、表にしてデータベースに記録されている。放電電荷量 q に対しては、積分値 L_q の方がピーク値 L_p よりも線形的な対応となる。さらに物理的観点からも、放電電荷量 q の推定には積分値 L_q を使用する方が好ましい。なお、線形的に比例していない場合でも、入力積分値 L_q やピーク値 L_p に対する出力電荷量 q の近似特性線を定式化してこの関数を求め、積分値 L_q やピーク値 L_p の入力値に対する出力電荷量 q が得られる。

[0035] 図8は、図6や図7と同様に、発光強度波形のピーク値 L_p や発光強度積分値 L_q などの発光信号を放電エネルギーと同時に測定して、この特性から放電エネルギー E の推定を説明する図であり、図中プロットは実測例を示し、かつ、図中ラインはデータベース作成用に修正した近似特性線である。このグラフの特性線上の各点が、表にしてデータベースに記録されている。放電エネルギー E に対しては、積分値 L_q の方がピーク値 L_p よりも線形的な対応となる。さらに物理的観点からも、放電エネルギー E の推定には積分値 L_q を使用する方が好ましい。なお、線形的に比例していない場合でも、入力ピーク値 L_p や積分値 L_q に対する出力放電エネルギー E の近似特性線を定式化してこの関数を求め、ピーク値 L_p や積分値 L_q の入力値に対する出力放電エネルギー E が得られる。

実施例 1

[0036] 図9は、本発明を耐雷試験装置に具体化した例を示す概略構成図である。耐雷試験においては、電源には、雷インパルス電流を通電することのできる電流源 LI_CG 、及びインパルス電流を検出する電流検出器 CT を用いる。インパルス電源の場合、極性は既知であるが、どのタイミングで放電或いはスパークが発生したかを知る必要がある。タイミングは、アンテナ $A1$ を用いて測定する。

- [0037] 試料（ファスナF付きサンプル）CFRPの発光を計測するために、サンプルは暗箱DB内に設置する。その暗箱DB内には、シールドボックスS3に入れた発光画像を測定するデジタルカメラCAMと光電子増倍管PMTへ発光信号を導く光ファイバーOFが適切に配置されており、光ファイバーOFは暗箱DBから別のシールドボックスS2内に取り入れられている。なお、デジタルカメラCAMと光ファイバーOFは、必要に応じて試料の裏、表の両面に配置してもよい。リリース操作部Cは、カメラCAMのシャッタの開閉を暗箱の外部から行うためのものである。リリース操作部Cを操作することにより試験前にシャッタを開けて、撮影の準備をした後、発光像を撮影し、撮影後に暗箱の中を観測するさい、外光が入って発光像が消えてしまわないように、シャッタを再び閉める。
- [0038] 発光強度波形の測定をするために、光電子増倍管（PMT）或いはフォトダイオードを用いる。光ファイバーOF先端に集光レンズ(L)や特定波長のみを透過させる光学フィルタを取付けてもよい。試料と光ファイバーOF先端まで、或いは光電子増倍管（PMT）までの距離は、測定波形の強度に影響するため、距離を適切に選択し、記録しておくことが重要である。この距離は、発光測定装置の構成（フィルタや集光レンズ有無）などの測定条件と同条件で校正曲線を取得しておく。シールドボックスS2の内部には、光ファイバーOF後端に正対して光電子増倍管PMT（或いはフォトダイオード）があり、その出力はデジタルオシロスコープOSC2に取り入れられている。なお、光電子増倍管PMTとデジタルオシロスコープOSCの電源は、バッテリー駆動或いはシールドボックス内の外部と電氣的に絶縁された電源から供給される。
- [0039] また、シールドボックスS2内には、その外部に設置されている指向性を有するGHz帯に感度を有するアンテナA1（例えば、ホーンアンテナ）からの出力も同軸ケーブルを介して導入されており、この信号がデジタルオシロスコープOSC2のトリガ信号となる。雷インパルス電源L1_CGから試料（ファスナF付きサンプル）CFRPに通電される試験電流波形は、電流プローブCTの出力としてデジタルオシロスコープOSC1で観測され、かつ取得される。
- [0040] 印加雷インパルス電流波形の観測及び取得は、第1のシールドボックスS1

に設置した第1の波形観測装置OSC1で行われる一方、発光強度波形の観測及び取得は、第2のシールドボックスS2に設置した第2の波形観測装置OSC2で行われる。このように、印加雷インパルス電流波形と発光強度波形の観測及び取得は、異なる場所で異なる波形観測装置(OSC1とOSC2)で行うため、両者の時間軸を合わせる、即ち同期計測が必要である。

[0041] 同期計測を実現するために、第2の波形観測装置OSC2を用いた発光強度波形の観測及び取得のトリガのために、GHz帯に感度を有する指向性のあるアンテナ(A1)を用いる。アンテナ(A1)によって放電により発生した電磁波を検出することによって、雷インパルス電流の通電が始まるタイミングがわかり、そこを基準に同期計測が可能となる。更に、電磁波を検出することによって、細線が溶断されるタイミング（アークエントリー）や、試験中に発生する放電或いはスパークを電磁波として観測することができる。これによって、耐雷試験の際に発生するワイヤ溶断や放電或いはスパーク事象を電磁的に観測し、PMTで測定した発光現象がどのタイミングで起こっているかを確認することができる。

[0042] 発光強度波形の測定系には、微弱な放電（スパーク）発光を感度よく発光強度波形計測素子（PMT）で測定できるように暗箱(DB)を用いる。さらに、カメラ(CAM)を用いることにより、発光像の同期観測も可能になる。カメラ(CAM)やPMTは雷インパルス電流による強い電磁ノイズの影響を受けないように波形計測装置(OSC2)と共にシールドボックス(S2、S3)に設置する。

[0043] 第1の波形観測装置OSC1で取得された雷インパルス電流波形、及び第2の波形観測装置OSC2で取得された発光強度波形は、それぞれコンピュータPC内に取り込まれる。コンピュータPCにおいては、詳細は図3及び図4を参照して説明したように、データベース作成時に波形解析部Aにおいて放電電流波形及び発光強度波形をそれぞれ解析し、この解析データをデータベースへ記録する一方、放電発光評価時に波形解析部Bにおいて解析された発光強度波形データを、データベースに記録されているデータと比較して、評価された結果を表示部に表示する。

- [0044] このように、暗箱DBとシールドボックス、光電子増倍管PMTとアンテナ、および光ファイバーを用いることで、数10kAから200kAの雷インパルス電流通電時の劣悪な電磁ノイズ環境での、微弱な放電或いはスパーク発光を計測でき、電源からの通電電流波形と同期計測できる。
- [0045] 図10は、図9に示す耐雷試験装置で観測された各種波形を示すグラフである。グラフ上段に、検出された雷インパルス電流波形を示し、中段に、発光測定器PMTで測定した発光波形を示し、下段に、アンテナAにより受信した電磁波をそれぞれ例示している。
- [0046] 図11(a)～(c)はそれぞれ雷インパルス電流値を変えて測定した発光像写真と発光強度波形のグラフを示す図である。図中に記載したEは、発光強度波形から導出した放電エネルギーを表している。電流値LICは印加電流波形のピーク値を表している。放電或いはスパークは、この雷インパルス電流波形のどのタイミングで発生するかで発光の強度が変わるため、直接はピーク値を示す電流値LICとの関係は無い。写真の発光像が大きく、明るくなっているほど、評価した放電エネルギーが大きくなっていること、および、どの程度の範囲の放電エネルギーの試験ができたかが、グラフより読み取ることができる。
- [0047] 以上、本開示にて幾つかの実施の形態のみを単に一例として詳細に説明したが、本発明の新規な教示及び有利な効果から実質的に逸脱せずに、その実施の形態には多くの改変例が可能である。

請求の範囲

- [請求項1] 測定対象の放電或いはスパークを、それに基づく発光現象を光学測定することにより非接触で評価する非接触放電試験方法において、
- 測定対象に既知の電源より電圧或いは電流を印加することにより放電或いはスパークの発光をさせ、この発光の強度を示す強度波形を発光測定器を用いて測定し、同時に放電或いはスパークの電流波形を電流測定装置で測定して、それらの波形を解析した解析データの間係を、前記測定対象に印加した印加電源情報に基づいて記録したデータベースを作成し、
- 前記測定対象の放電或いはスパークによって発生した電磁波を検出して、該電磁波を放電或いはスパーク発生タイミング基準にして、前記測定対象から発生した放電或いはスパークの発光の強度波形を、前記発光測定器と同一若しくは同一種の発光測定器を用いて測定し、
- 前記測定した放電或いはスパークの発光の強度波形を解析することにより求められた発光データを、前記データベースに記録されているデータと比較することにより、放電或いはスパークの大きさを値として推定する、
- ことから成る非接触放電試験方法。
- [請求項2] 前記発光測定器及び前記電流測定装置はそれぞれ、シールドして配置される請求項1に記載の非接触放電試験方法。
- [請求項3] 前記既知の電源としてインパルス電源を用いて放電或いはスパークの発光をさせ、前記印加電源情報を電流検出器或いは電圧検出器を用いて検出する耐雷試験を行う請求項1に記載の非接触放電試験方法。
- [請求項4] 前記放電或いはスパークの大きさは、放電或いはスパークの電流のピーク値、放電或いはスパークの電流の積分値である電荷量、又は放電或いはスパークのエネルギー値である請求項1に記載の非接触放電試験方法。
- [請求項5] 前記放電或いはスパークの大きさを、測定した光強度波形のピーク値

或いは光強度波形の面積で評価する請求項 1 に記載の非接触放電試験方法。

[請求項6]

測定対象の放電或いはスパークを、それに基づく発光現象を光学測定することにより非接触で評価する非接触放電試験装置において、

測定対象に既知の電源より電圧或いは電流を印加することにより放電或いはスパークの発光をさせ、この放電或いはスパークの発光の強度を示す強度波形を、シールドして配置された発光測定器を用いて測定し、同時に放電或いはスパークの電流波形を、シールドして配置された電流測定装置で測定して、それらの波形を解析した解析データの間接関係を、前記測定対象に印加した印加電源情報に基づいて記録したデータベースと、

前記測定対象の放電或いはスパークによって発生した電磁波を検出するアンテナと、

前記アンテナにより検出された電磁波を放電或いはスパーク発生のタイミング基準にして、前記測定対象から発生した放電或いはスパークの発光の強度波形を、前記発光測定器と同一若しくは同一種の発光測定器を用いて測定して、その波形強度を取得する波形強度取得装置と、

前記波形強度取得装置により取得した波形強度を解析する波形解析部と、

前記波形解析部での解析により求められた発光データを、前記データベースに記録されているデータと比較することにより、放電或いはスパークの大きさを値として推定する比較部と、

推定した結果を表示する表示部と、

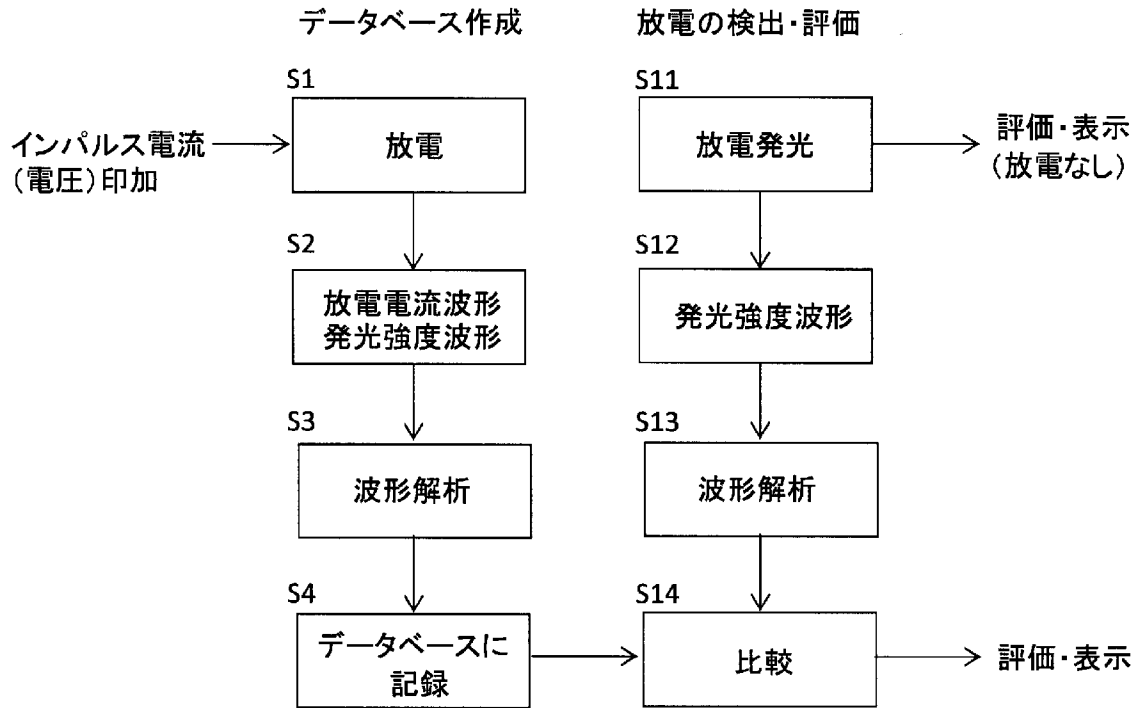
から成る非接触放電試験装置。

[請求項7]

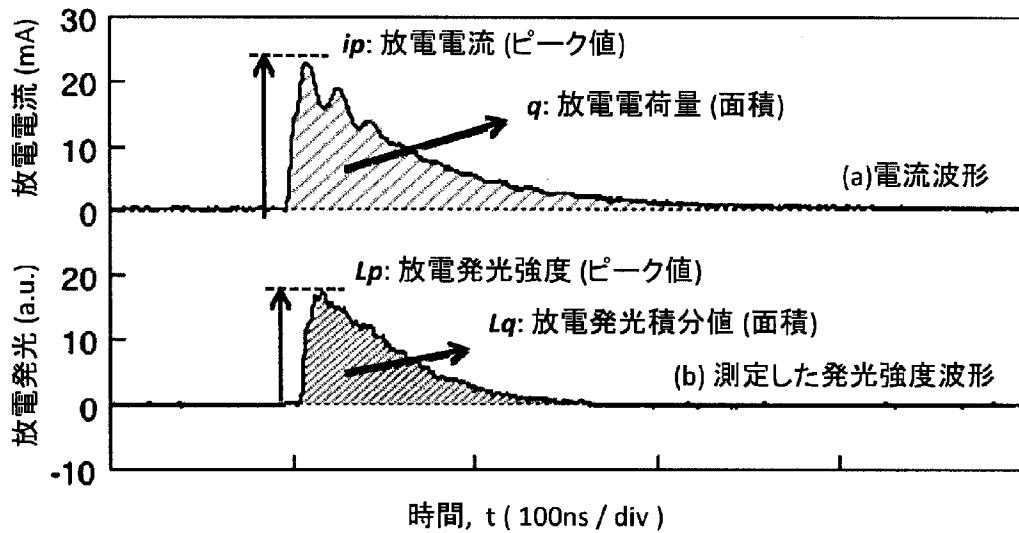
前記既知の電源としてインパルス電源を用いて放電或いはスパークの発光をさせ、前記印加電源情報を電流検出器或いは電圧検出器を用いて検出する耐雷試験を行う請求項 6 に記載の非接触放電試験装置。

- [請求項8] 前記放電或いはスパークの大きさは、放電或いはスパークの電流のピーク値、放電或いはスパークの電流の積分値である電荷量、又は放電或いはスパークのエネルギー値である請求項6に記載の非接触放電試験装置。
- [請求項9] 前記放電或いはスパークの大きさを、測定した光強度波形のピーク値或いは光強度波形の面積で評価する請求項6に記載の非接触放電試験装置。
- [請求項10] 前記発光測定器は、光導波路を用いて前記測定対象に対向配置した請求項6に記載の非接触放電試験装置。

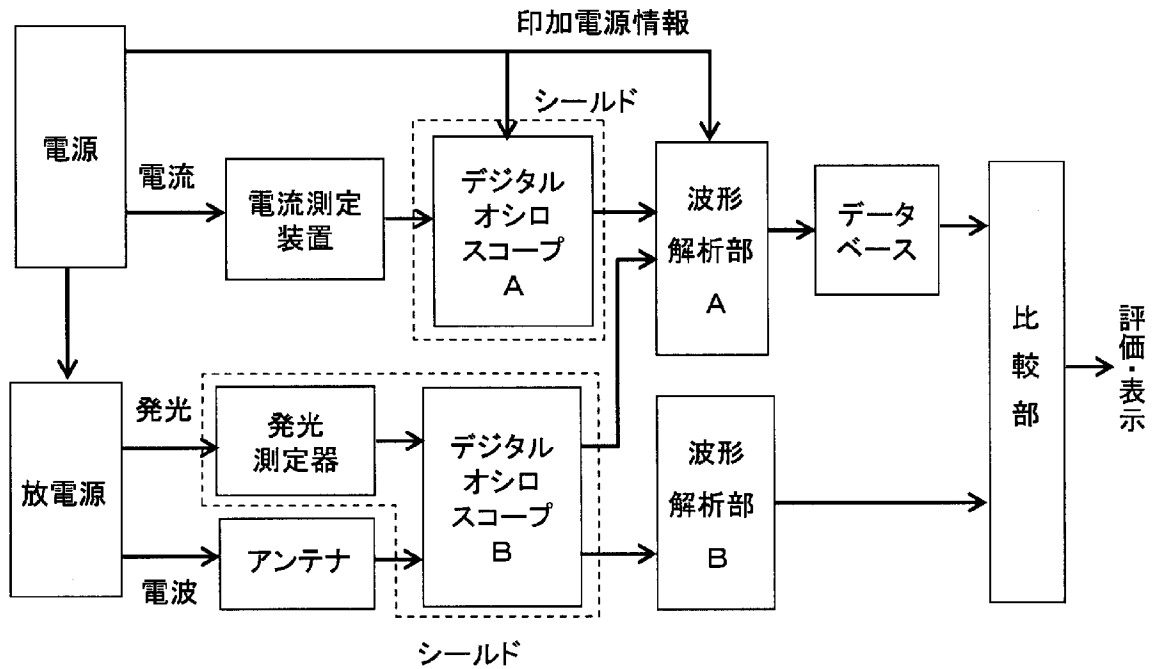
[図1]



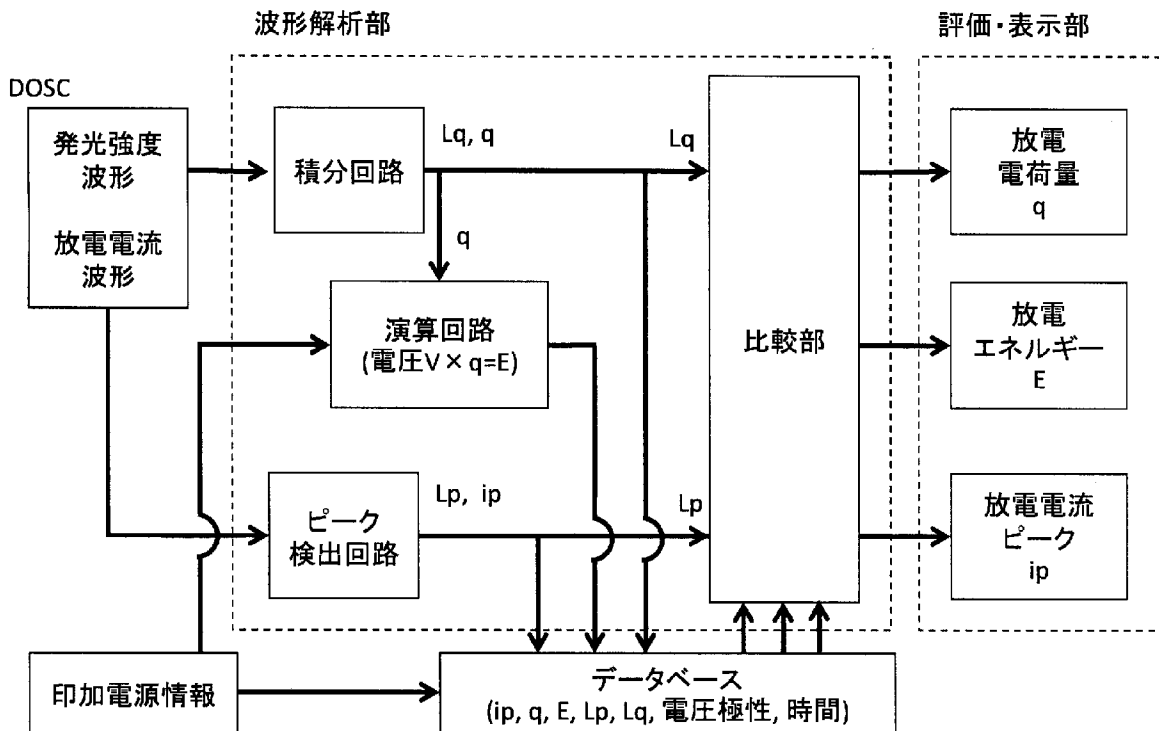
[図2]



[図3]

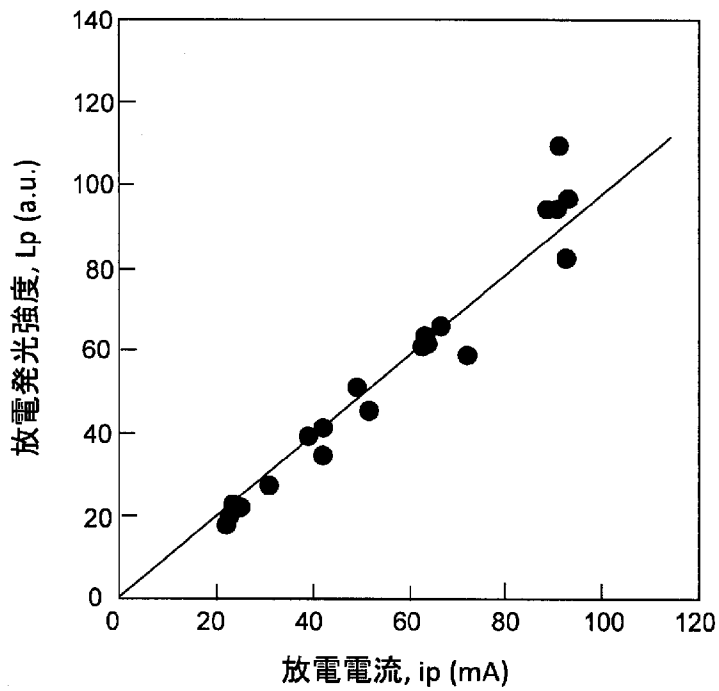


[図4]

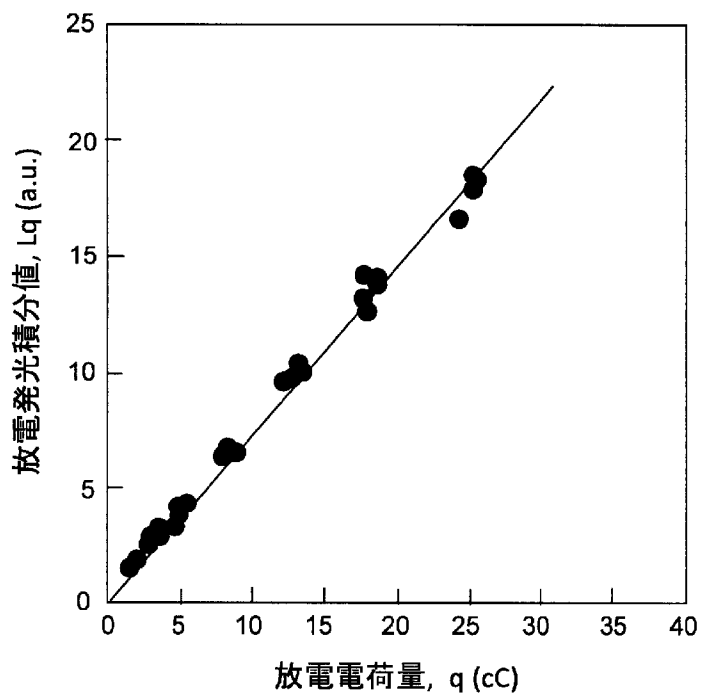


[図5]

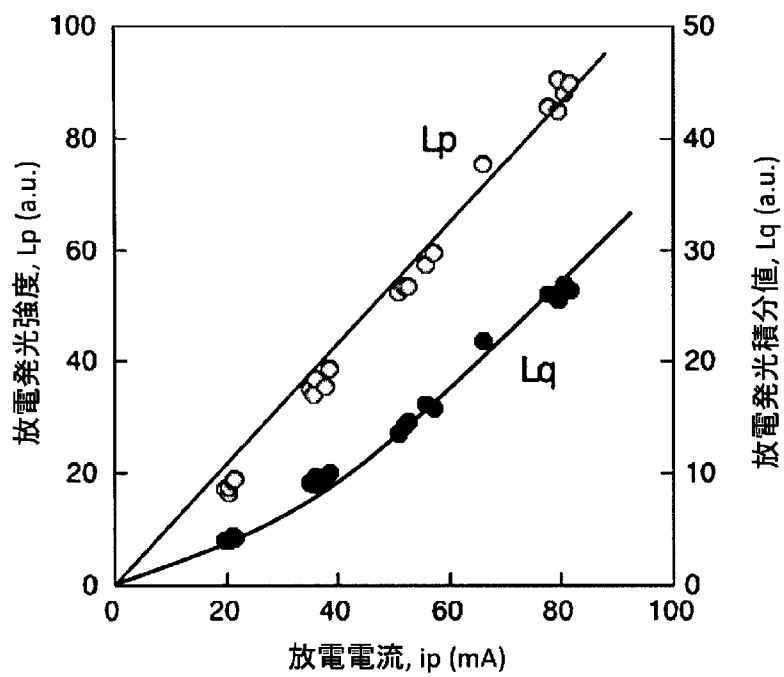
(A) 放電発光強度と放電電流の関係



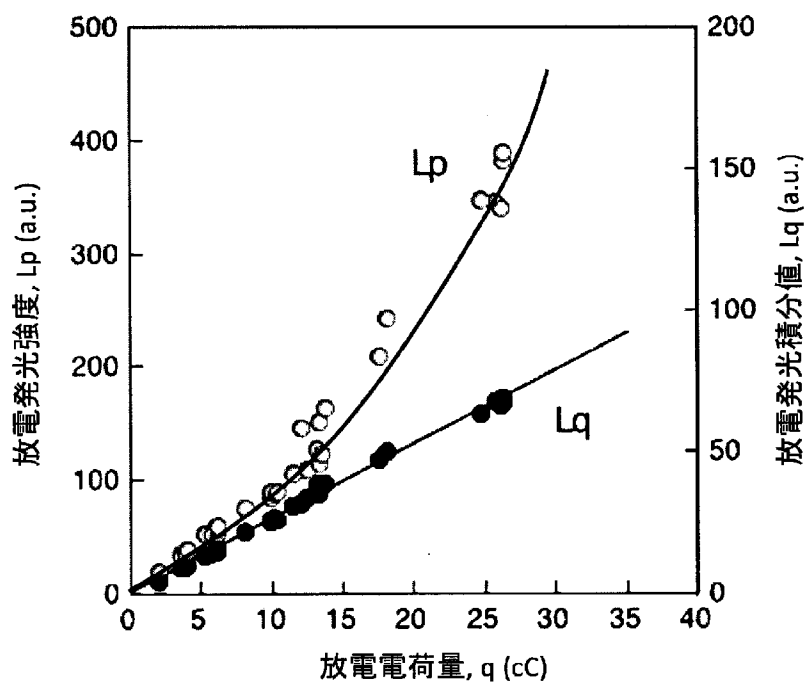
(B) 放電発光積分値と放電電荷量の関係



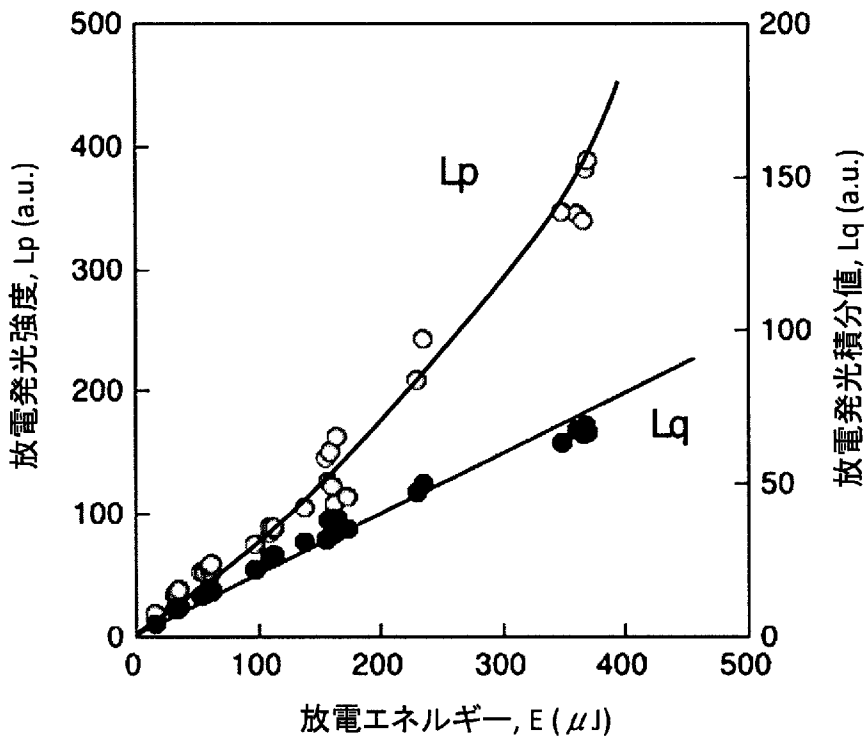
[図6]



[図7]

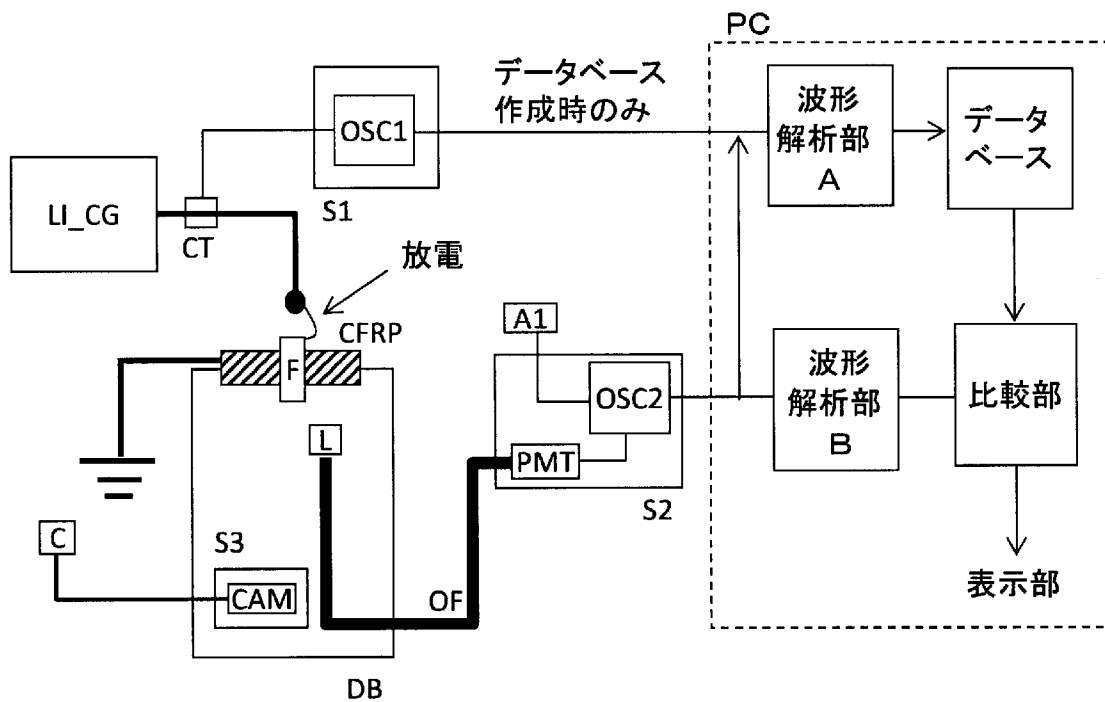


[図8]

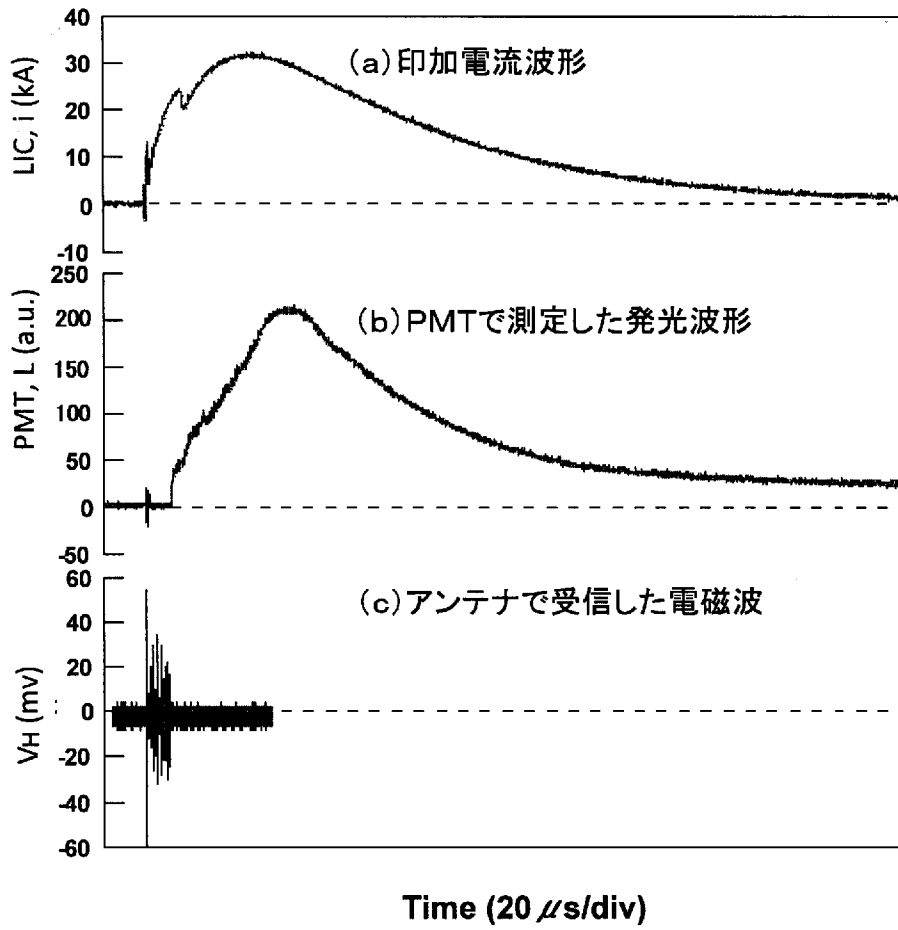


[図9]

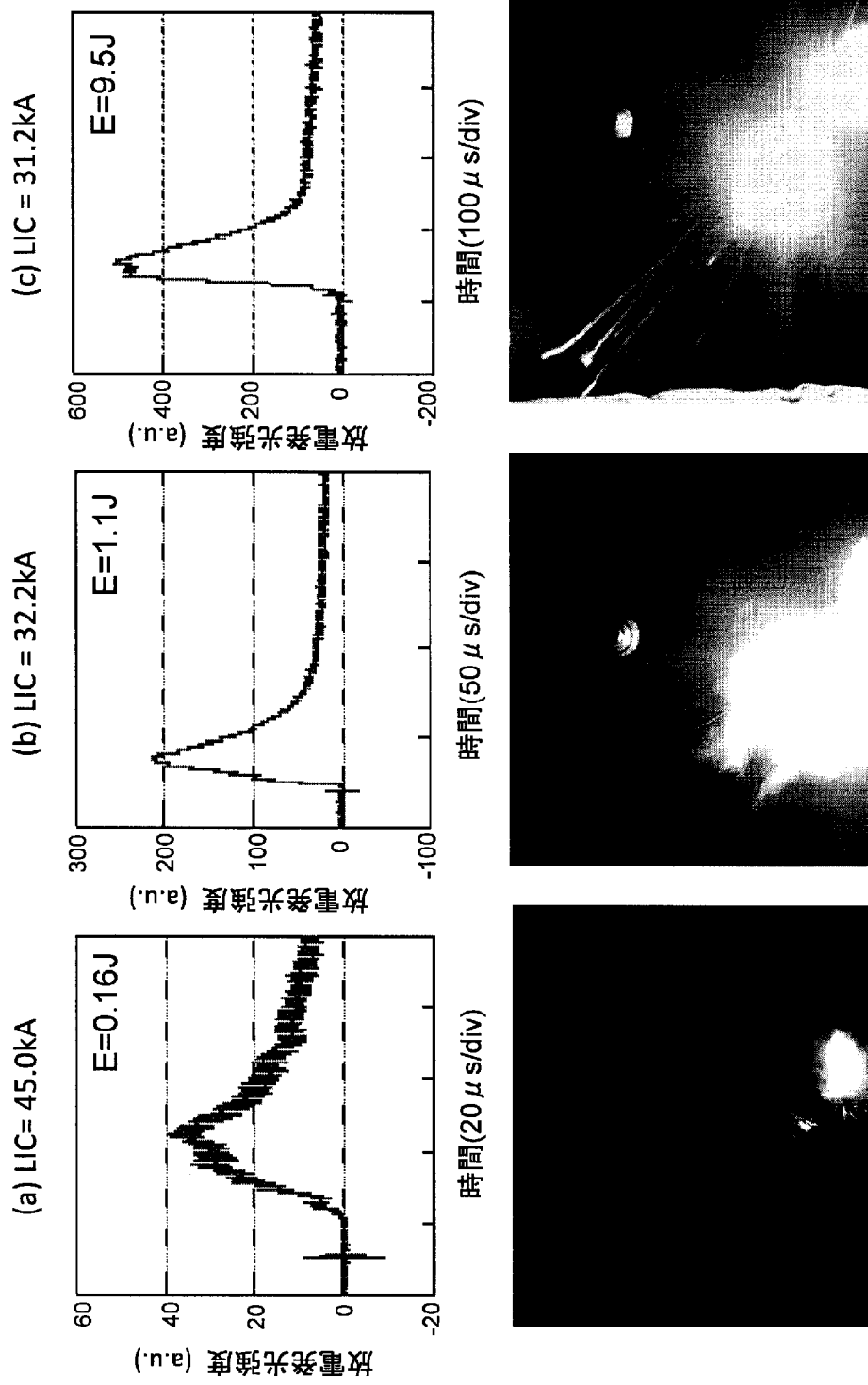
耐雷試験装置



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/083320

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01R31/12(2006.01)i, G01N21/67(2006.01)i, G01R31/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R31/00, 31/12, G01N21/67

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-38471 A (Kyushu Institute of Technology), 09 February 2006 (09.02.2006), paragraphs [0009], [0024] to [0030]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-10
Y	JP 63-86592 A (Toshiba Corp.), 16 April 1988 (16.04.1988), page 2, upper left column, lines 1 to 12; page 2, lower right column, line 18 to page 3, upper right column, line 8; lower left column, lines 16 to 18; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 05 March, 2014 (05.03.14)	Date of mailing of the international search report 18 March, 2014 (18.03.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/083320

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-300357 A (Kyushu Institute of Technology), 24 December 2009 (24.12.2009), paragraphs [0010], [0018] (Family: none)	1-10
Y	JP 5-86841 A (Hitachi, Ltd.), 06 April 1993 (06.04.1993), paragraph [0009] (Family: none)	2, 6, 8-10
Y	JP 2012-154880 A (Mitsubishi Aircraft Corp.), 16 August 2012 (16.08.2012), paragraphs [0004] to [0005], [0024] & US 2012/0194168 A1 & EP 2482087 A1 & CA 2762141 A1	2, 6, 8-10
Y	JP 2012-242307 A (Mitsubishi Aircraft Corp.), 10 December 2012 (10.12.2012), paragraphs [0050] to [0056]; fig. 1 to 3 (Family: none)	3, 7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01R31/12(2006.01)i, G01N21/67(2006.01)i, G01R31/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01R31/00, 31/12, G01N21/67

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-38471 A (国立大学法人九州工業大学) 2006.02.09, 段落【0009】、【0024】-【0030】、図1-2 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 63-86592 A (株式会社東芝) 1988.04.16, 第2頁左上欄第1行-12行, 右下欄18行-第3頁右上欄第8行, 左下欄16行-18行, 第1-2図 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2009-300357 A (国立大学法人九州工業大学) 2009.12.24, 段落【0010】、【0018】 (ファミリーなし)	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 05.03.2014	国際調査報告の発送日 18.03.2014
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 柳 重幸 電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 5-86841 A (株式会社日立製作所) 1993. 04. 06, 段落【0009】 (ファミリーなし)	2, 6, 8-10
Y	JP 2012-154880 A (三菱航空機株式会社) 2012. 08. 16, 段落【0004】 - 【0005】 , 【0024】 & US 2012/0194168 A1 & EP 2482087 A1 & CA 2762141 A1	2, 6, 8-10
Y	JP 2012-242307 A (三菱航空機株式会社) 2012. 12. 10, 段落【0050】 - 【0056】 , 図 1-3 (ファミリーなし)	3, 7