

再処理工場 分離建屋 非常用無停電交流電源装置 A 故障警報の発報について  
(原因と対策)

1. 事象概要

2015年11月9日21時49分に中央制御室の安全系監視制御盤および監視制御盤にて分離建屋 非常用無停電交流電源装置<sup>※1</sup>A (以下、「AB-UPS-A」という。)の故障警報が発報したことから直ちに当直員が現場に向かい、現場盤にてAB-UPS-Aの「チョッパ<sup>※2</sup>重故障」(故障を示す警報)の発報および「チョッパ運転」が消灯していることを確認するとともに統括当直長にその旨連絡した。

※1 非常用無停電交流電源装置：外部電源喪失時に非常用ディーゼル発電機から給電開始するまでの間、バッテリーから安重負荷（建屋換気設備などの制御盤等）へ給電を行うための電源装置

※2 チョッパ：直流入力電圧を昇圧する装置

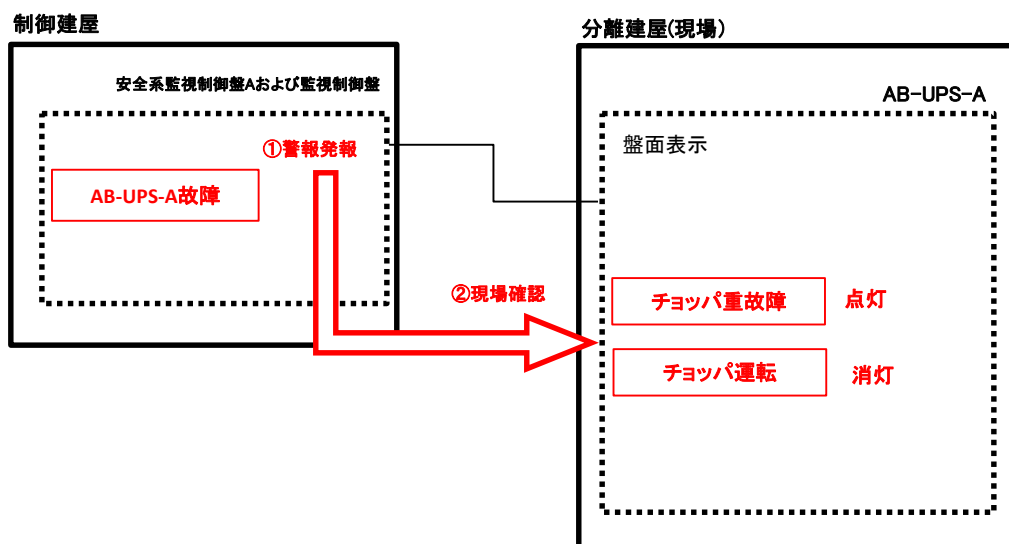


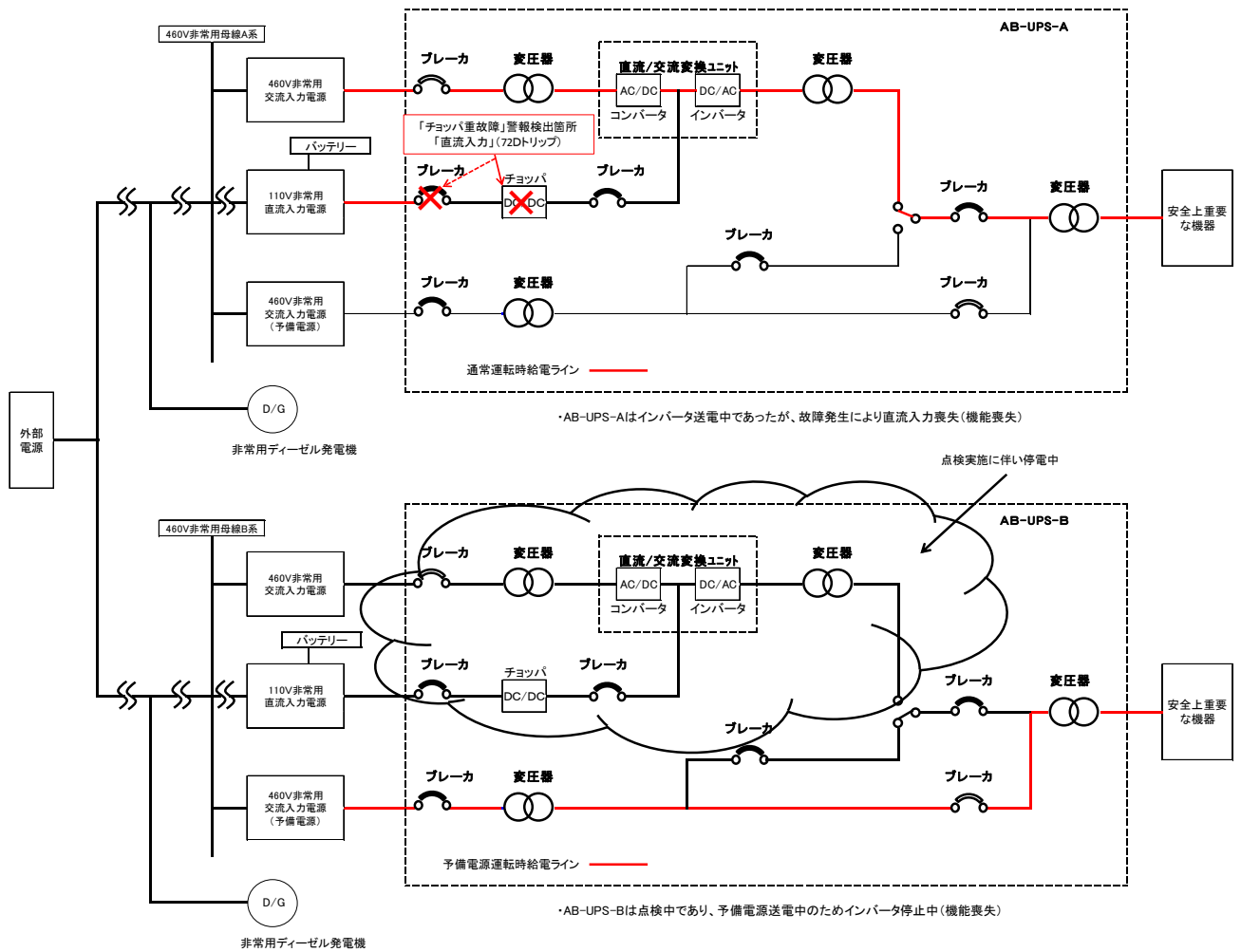
図1 警報発報時の現場確認図

統括当直長はチョッパ重故障の警報発報の連絡を受け、AB-UPS-Aの機能が喪失したと判断するとともに、分離建屋 非常用無停電交流電源装置B (以下、「AB-UPS-B」という。)が点検に伴い機能を停止させていたことから、22時32分にAB-UPS-A/Bの同時機能喪失と判断した。

なお、AB-UPS-A/Bの負荷先である安全上重要な機器の制御盤等には外部電源から交流電源が供給されている状態であり安全機能への影響はなく、故障警報発報後に非常用ディーゼル発電機の自主点検を行いその健全性を確認した。

また、万一、外部電源が喪失した場合においても、停電から速やかに非常用ディーゼル発電機が自動起動し安全上重要な機器の制御盤等を速やかに復旧できること、および換気設備が自動起動し負圧の状態が維持できることから周辺環境への影響はない。

本事象を受けて、点検中だったAB-UPS-Bを速やかに復旧させる措置を実施した。  
(11月10日7時40分にAB-UPS-Bの復旧完了)



※外部電源喪失時にAB-UPS-A/Bが同時にバッテリー給電とならない状態となった。

図2 非常用無停電交流電源装置故障時の状況図

## 2. 時系列

2015年11月9日

- 21時49分 ・ 中央制御室にある安全監視制御盤Aにて「AB-UPS-A故障」の警報発報
- 21時50分 ・ 当直長から統括当直長（連絡責任者）へ報告
- 22時12分 ・ 当直員が現場盤でAB-UPS-Aの「チョツパ重故障」点灯、「チョツパ運転」消灯を確認
- 22時17分 ・ 当直員が現場盤にて「チョツパ電圧」が0Vであることを確認
- 22時32分 ・ 統括当直長はAB-UPS-AおよびAB-UPS-Bの同時機能喪失と判断
- 22時41分 ・ 第1報発信（A情報 安全上重要な機器の故障 安全協定12条対象として通報）

⇒その後、第2報にて（A情報 安全上重要な設備の安全協定報告未済の軽度な故障 安全協定12条対象外）に訂正し、詳細な状況について第5報（11月10日3：21発信）まで連絡

- ・保安規定にもとづき、核燃料物質の移動禁止措置およびAB-UPS-Bを動作可能な状態に復旧する措置を開始した。

2015年11月10日

- 7時40分 ・統括当直長はAB-UPS-Bの復旧が完了したことから通常運転状態と判断し、核燃料物質の移動禁止措置の解除を実施した。

### 3. 原因調査および復旧措置

#### 3.1 現場確認

警報発報後、中央制御室および現場において、AB-UPS-Aならびに関連する設備の状態について、以下のことを確認した。

- ①中央制御室において、AB-UPS-A上流の外部電源側および下流の負荷先である安全上重要な設備において警報の発報、設備停止の発生がないことを確認した。
- ②現場において、AB-UPS-A盤面警報表示窓に、「チョッパ重故障」点灯および「チョッパ運転」消灯、ならびにチョッパ電圧が0Vであることを確認した。



図3 現場盤 警報表示窓等の確認

- ③現場において、AB-UPS-A盤内部の目視確認の結果、異音、異臭、接続部の損傷等の異常がないことを確認した。
- ④現場において、AB-UPS-A盤内にあるチョッパ基板の故障表示を確認したところ、「LED3 チョッパ重故障」および「LED9 CHP出力低電圧<sup>※3</sup>」が点灯していることを確認した。

※3 CHP出力低電圧：チョッパ出力電圧が検出値以下まで低下したときに発報

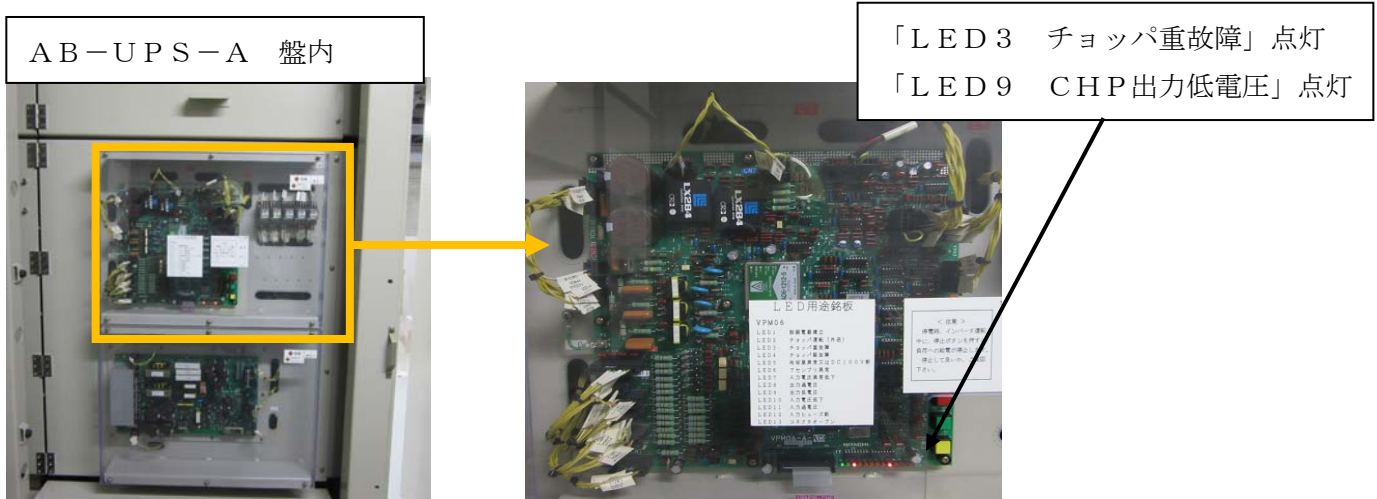


図4 AB-UPS-A盤内チョップ基板故障表示

現場等において確認された、AB-UPS-Aから負荷先である安全上重要な設備への給電が継続していること、およびAB-UPS-A盤面、盤内チョップ基板の故障表示の内容から、非常用無停電交流電源装置の通常運転時給電ライン（直流／交流変換ユニット等）および予備電源運転時給電ラインには異常はなく、バッテリー給電ラインにあるチョップ基板に異常が発生したと考え、チョップ基板等の調査を行うこととした。

### 3. 2 チョップ基板等の調査

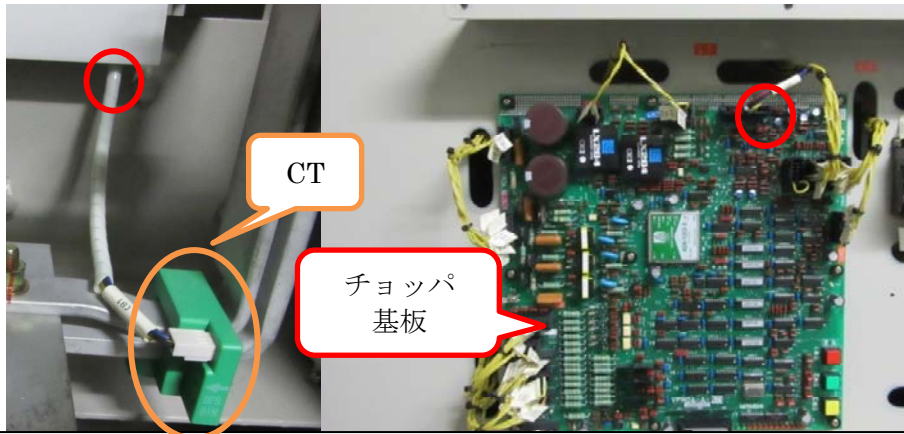
上記現場確認の結果より、異常が発生している可能性が考えられるチョップ基板について以下の調査を実施した。

- ①目視等の状態確認により各部品の変形、変色、過熱、断線等の有無およびコネクタの取付状況等の調査
- ②異常が発生している可能性が考えられるチョップ基板内の各部電圧の測定

チョップ基板の目視確認の結果、異常がないことを確認し、また、各部電圧測定の結果にも異常は確認されなかった。

この調査とともに実施したチョップ基板に付随するCT<sup>※4</sup>についても、あわせて電圧測定を実施したところ、出力電圧が通常0Vであるべきところ6V程度が出力されていることを確認し、CTに異常があることを確認した。

※4 CT：直流入力電流を電圧に変換し、チョップ基板へ出力している機器



チョップ基板のコネクタから出ているケーブルがCTにつながっている

図5 チョップ基板と付属するCT配置図

### 3. 3 復旧措置

現場確認の結果より、異常が確認されたCTの交換を実施するとともに、現地確認においては異常が確認されなかったチョップ基板についても、製造メーカーの調査を実施するために交換を実施した。また、交換後に以下の状態確認を実施し結果に問題がなかったことから、AB-UPS-Aを通常時の給電状態に復旧し、復旧措置を完了した。(2015年11月12日～13日実施)

#### 【CTおよびチョップ基板交換後の状態確認項目】

- ①チョップ基板内各部電圧測定
- ②CT出力電圧測定
- ③チョップ出力電圧測定
- ④UPS運転状態で出力切替試験、停電想定試験

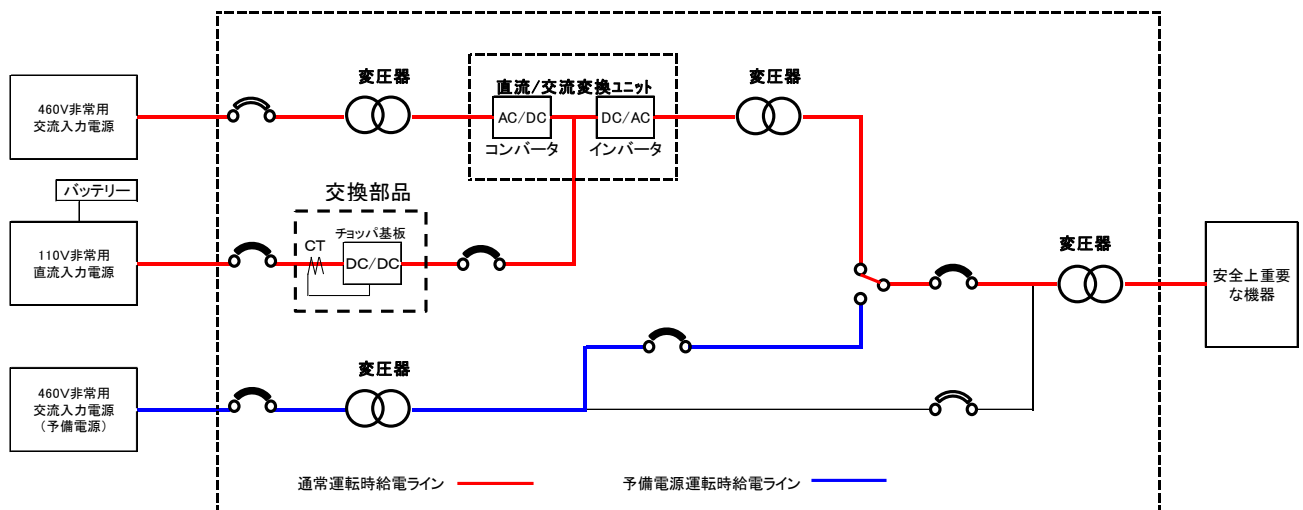


図6 交換箇所図

#### 4. CT故障の原因調査

##### 4. 1 原因調査

交換したCTおよびチョッパ基板について製造メーカーで以下の原因調査を実施した。

##### (1) CT調査

###### a. 外観目視点検

外観にひび割れ等の異常は無く、コネクタ部およびピンに変形や異物付着等が無いことを確認した。

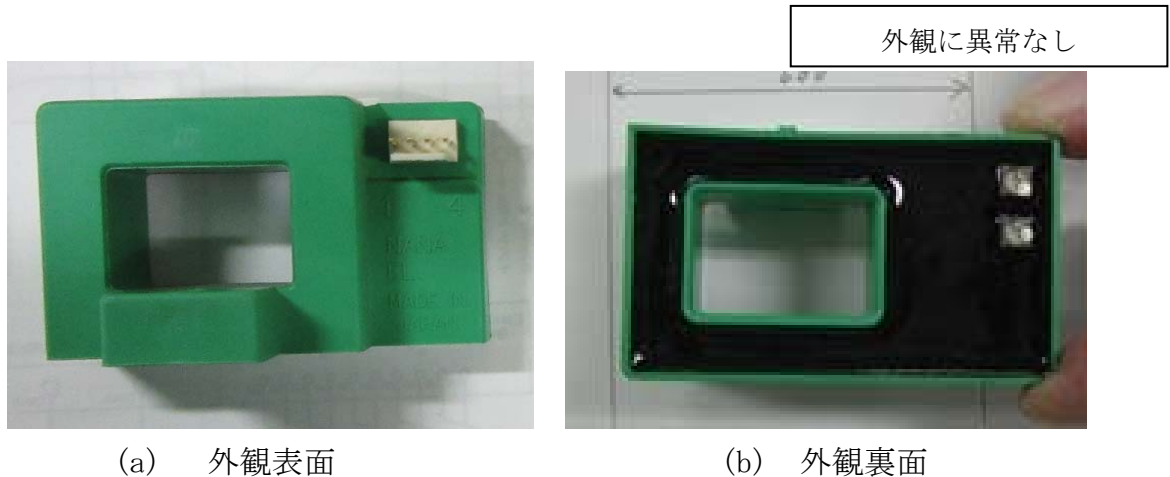


図7 CT外観目視点検

###### b. 電気的特性試験

本CTは、チョッパを制御するための直流入力電流を計測しているもので、 $0 \sim 800 \text{ A}$ の入力電流に対して $0 \sim 4 \text{ V}$ の電圧を出力しており、本来、入力電流が $0 \text{ A}$ に対して出力電圧は $0 \text{ V}$ であるべきところ、 $6 \text{ V}$ 程度の電圧を出力していることを確認した。また、入力電流を定格 $\pm 800 \text{ A}$ まで変化させても出力電圧が $6 \text{ V}$ 程度と変わらないことから、本CT単体に異常があり、事象が再現していることを確認した。

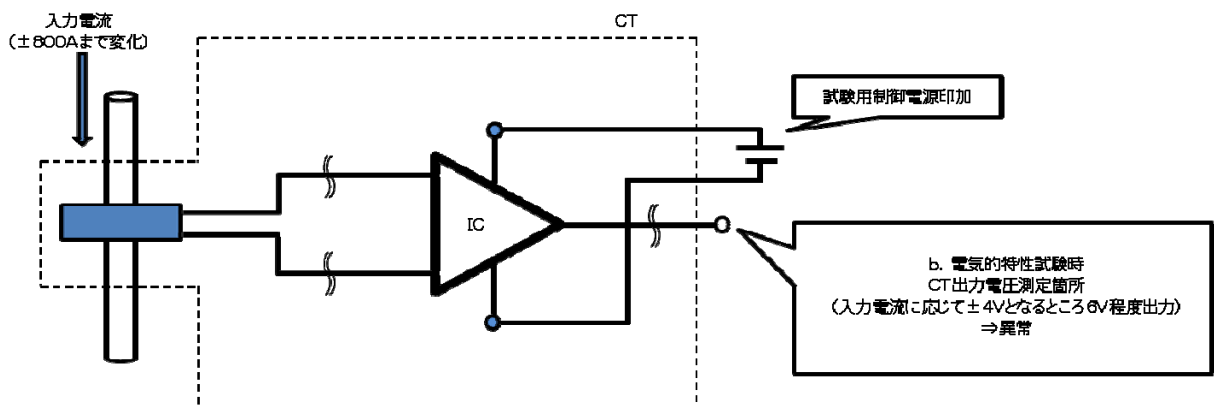


図8 CT電気的特性試験概要図

c. X線観察

断線、変形などの欠陥箇所が無いことを確認した。

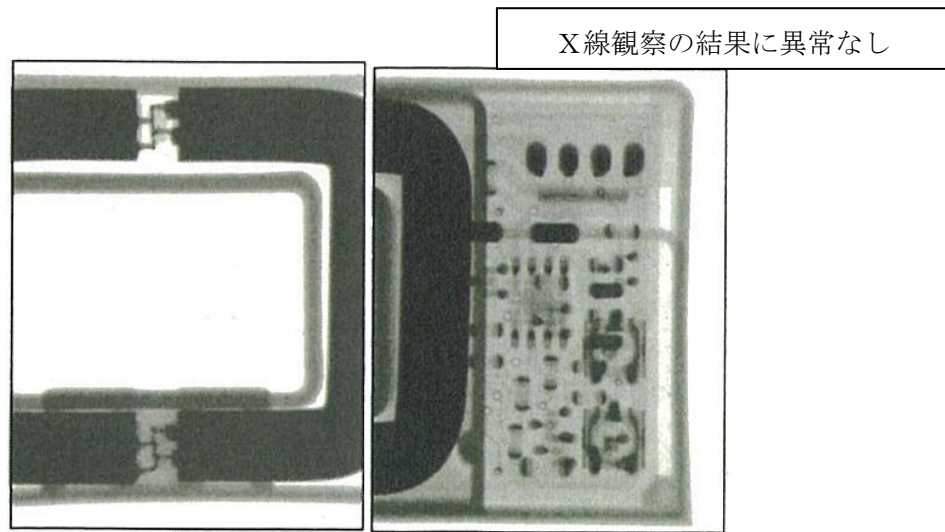


図9 CT X線観察

d. 分解調査

部品の外観に異常の無いことを確認した。

また、CTを分解し各構成部品の電圧測定を実施したところ、CT内のIC（集積回路）が入力電圧0Vに対して0Vで出力すべきところ6V程度の電圧を出力しており、正常に出力していないことを確認した。

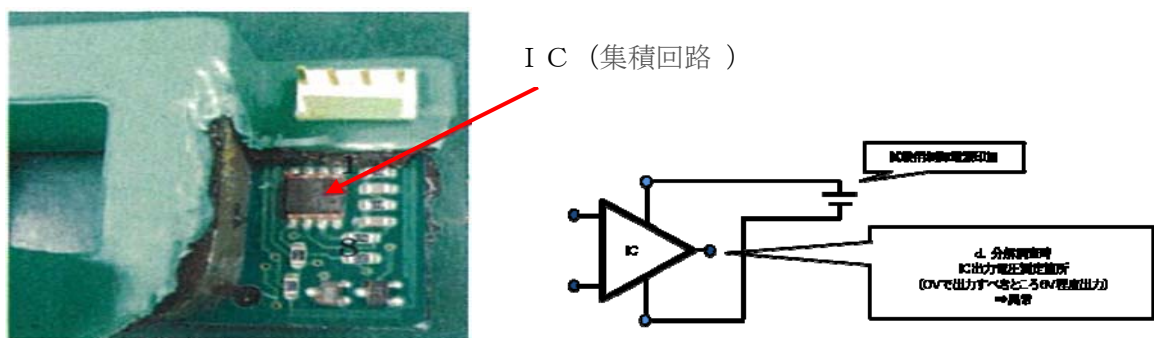


図10 CT分解調査概要

a. ～d. の結果から、CT内のICに異常が確認されたことから、ICの詳細調査を以下のとおり実施した。

(2) IC詳細調査

a. X線調査

断線、変形などの欠陥箇所が無いことを確認した。

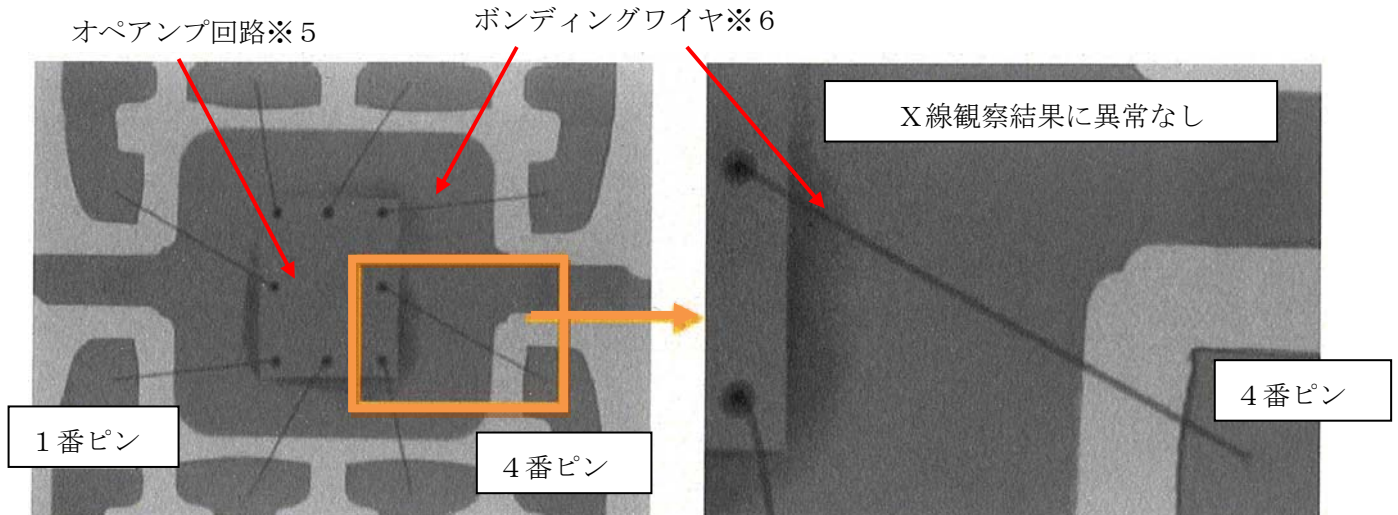


図 11 IC X線観察

※5 オペアンプ回路：CT内で検出値を増幅して出力する回路

※6 ボンディングワイヤ：オペアンプ回路の電極とICの内部基板の電極を接続する配線材

b. 電子顕微鏡観察

ICを電子顕微鏡で観察したところ、IC内の4番ピン（オペアンプ回路のマイナス電源）のボンディングワイヤの接合部に剥がれがあることを確認した。

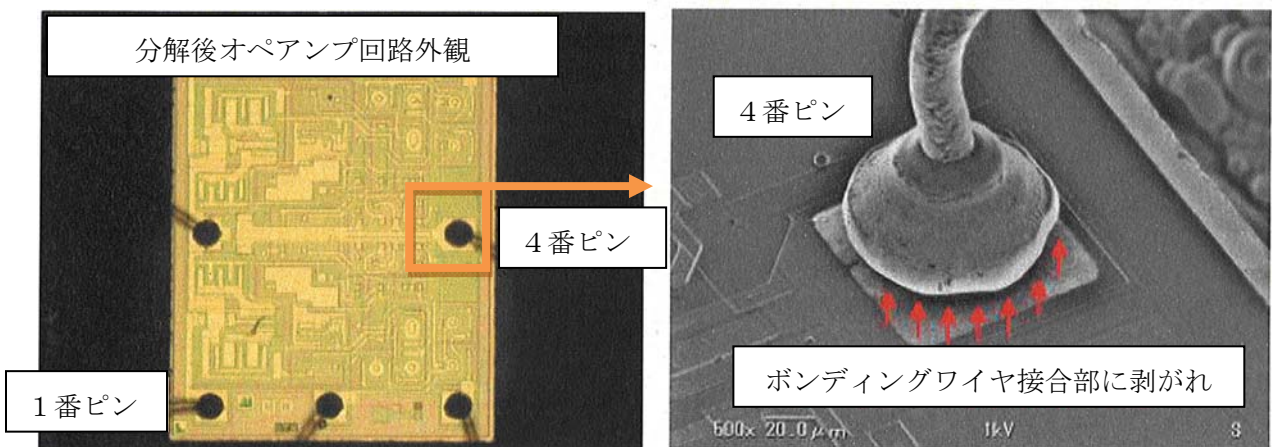


図 12 電子顕微鏡観察



### (3) チョップ基板調査

#### a. 外観目視点検

回路およびコネクタに変色、変形、断線、破損等の異常が無いことを確認した。

外観に異常なし



図 13 チョップ基板外観

#### b. 電気的特性試験

チョップ基板にCTからの信号を模擬した試験電圧を印加し、チョップ基板内部の信号動作特性に異常が無いことを確認した。

(1)～(3)の結果から、チョップ基板に異常はなく、CT内のIC4番ピンのボンディングワイヤ接合部の剥がれによって回路が電氣的に開放状態となったことで正常に出力できない状態であることが判明した。また、IC内の4番ピンが電氣的に開放状態になるとICが正常に出力できない設計となっていることを確認した。

## 4. 2 原因

「4. 1 原因調査」の結果から、AB-UPS-A故障警報が発報した直接的原因はボンディングワイヤ接合部の剥がれによるCTの故障である。バッテリー給電ラインにおいて、CT内のIC不良によりCT出力電圧値に異常が発生したため、チョップが出力電圧を低下させる制御を行い、その結果、チョップ出力電圧が通常状態から警報設定値以下まで低下し警報が発報したものであることを確認した。

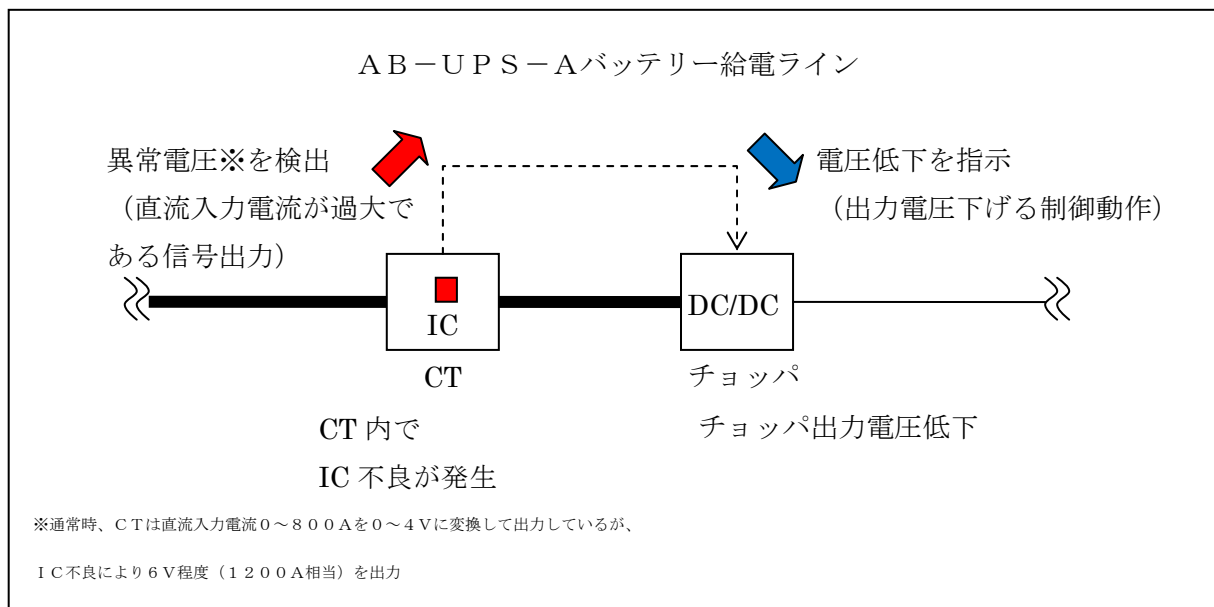


図 14 CTおよびチョップパ制御の関係図

ボンディングワイヤ接合部の剥がれは、製造過程において異物混入により発生する可能性は否定できないが、当該ICはクリーンルームで製造されており、その可能性は限りなく低いと考えられる。また、製造メーカーにおいて同一型式のCTは1万個以上の生産実績があるが、これまで同様の不具合の発生がなかったことが確認された。

以上のことから、当該ICでのボンディングワイヤの接合部の剥がれは、極めて低い確率で発生したCT単体の偶発故障によるものとする。

## 5. 再発防止対策および水平展開

調査の結果、今回発生した事象はチョップパ基板に付随するCT単体の偶発故障によるものと考えられ、調査の過程で抽出された異物混入についてもCTはクリーンルームで製造されており混入する可能性は限りなく低いこと、およびCT交換をもってAB-UPS-Aが正常に作動することを確認したことから、当該事象の原因に対する新たな再発防止対策は必要ないと判断した。

そのため、復旧措置で実施したCT交換をもって恒久措置(対策完了)とし、水平展開も不要であるものの、同一型式・同一製造時期のCTが設置されていないか調査を行い、AB-UPS-Bに設置されていたことから、念のため新品のCTと交換した(2015年12月24日に実施済)。

以上