

## 海底地震計用組電池製作の省力化と外部委託への取り組み — 専用ケースの開発 —

八木健夫\*†・山田知朗\*\*、\*\*\*・篠原雅尚\*\*

### Improvement of Battery Assembly for Ocean Bottom Seismometers and Outsourcing of Assembly

Takeo YAGI\*†, Tomoaki YAMADA\*\*、\*\*\*, and Masanao SHINOHARA\*\*

#### Abstract

A plastic holder was developed for primary lithium batteries, which are assembled at the Earthquake Research Institute, as a power source for an ocean bottom seismometer (OBS). There are three different sizes of plastic holders that can hold 2-4 cells. The holders have a simple structure that consists of two parts made of polyvinyl chloride, and they do not require special tools for assembly. Therefore, high quality assembly has been achieved and the time for assembly of a battery has been significantly reduced. Weight is always a problem for seafloor instruments to secure positive buoyancy for recovery. Therefore, the holders must be made as light as possible. The holders are also made of translucent plastic for visual inspection after assembly. A total of more than 10,000 holders have been produced and were shipped by Sept. 2019. The development of these holders has enabled us to outsource assembly of the batteries and achieve efficient battery production. The outsourced assembly of batteries for OBSs is now established as an effective means of assembly.

*Key words* : Battery assembly, Battery holder design, Outsourcing

#### はじめに

東京大学地震研究所では、1年間連続観測可能な広帯域海底地震計や長期観測型 1 Hz 海底地震計を開発し、数十台規模で運用して観測網を構築してきた(金沢ほか, 2009)。これらは自己浮上式海底地震計であり、内部の記録装置に観測データを蓄えるオフライン収録方式を用いている。記録装置に実装した低消費電力の高精度発振器により、地震を観測する測器として重要な刻時精度を高めるとともに、チタン合金製耐圧容器の採用により、余剰浮力を

大きくして大容量組電池を多数搭載し、長期観測を実現している。導入時は、構成要素である機器や機械部品を調達し、教職員が自ら組立を行い、完成させる。それにより、1台当たりの導入経費を抑え、限られた予算で数多くの台数を導入している。また運用毎に整備を実施する必要があり、概ね構成要素の状態まで分解した後、機器の点検、新しい組電池と機器の搭載を行い、再度組み上げる。

地震研究所技術部総合観測室では、技術職員数名がこれらの作業を担当しているが、近年の職員定数削減に伴い(宮川, 2013)、他の観測分野との兼務や、一人当たりの業務量増加が顕著になってきた。そのため海底地震計を滞りなく運用すべく、所要時間が長く、反復が多い作業の見直しを図ることとした。海底地震計では、効率的な電力利用や重量制限の観点も含めて、機器や機能に応じた組電池をそれぞれ搭載している。それらの内、DD サイズ(単1形電池と直径が同じで、高さが2倍)の単電池を直列接続した組電池は、記録装置やセンサーの電源に数多く使われており、消費電力や観測期間に応じて並列接続し搭載されている。例えば、2012年に設置した長期観測型 1 Hz 海底地震

2019年11月29日受付, 2020年1月14日受理.

† yagi@eri.u-tokyo.ac.jp

\* 東京大学地震研究所技術部総合観測室

\*\* 東京大学地震研究所観測開発基盤センター

\*\*\* 気象庁地震火山部

\* Technical Supporting Section for Observational Research, Technical Division, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

\*\* Center for Geophysical Observation and Instrumentation, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

\*\*\* Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency.

計 70 台では、3 直列の組電池が合計 860 個使われた。そこで、この組電池に注目して製作工程の見直しを行い、省力化を図るべく専用ケースを開発して、2013 年から導入した。尚且つ、製作の外部委託を推進し、組電池準備の効率化を図った。本稿では、その取り組みについて紹介する。

### 組電池の構成

機器の電源電圧に応じて製作される組電池は、単電池 2～4 本、電源ケーブル、外装から構成される。単電池は、低温環境下でも使用可能で、エネルギー密度が高いリチウム一次電池である。2015 年以前は、低温における容量低下が少なく優れた放電特性を有する Electrochem 社製 BCX85 シリーズの 3B0076（開放電圧 3.9V、定格容量 30 Ah（Electrochem、参照 2019））を採用していたが、現在では、より安価で概ね同等の性能である Vitzrocell 社製 SC-DD100（Vitzrocell、参照 2019）を採用している。これらの電池筐体では、金属円筒缶が用いられており、缶全体が負極であるため、外側の周側面は絶縁フィルムで覆われている。組電池形状は単電池を径方向に単列に並べた配列であり、タブ端子を活用して直列接続し、単電池群にしている。電源ケーブルは電流逆流防止ダイオードと中継接続用コネクタが取り付けられており、単電池群の両極タブ端子に半田付けされる。効率的な電力利用の観点から、ダイオードは逆方向電流がやや大きい順方向電圧降下が小さい東芝デバイス&ストレージ株式会社製 2FWJ42N やサンケン電気株式会社製 RA 13 を採用している。観測終了後、電源ケーブルは組電池から外され、再利用されている。単電池群の外形を覆う外装は、絶縁性を有する資材が用いられ、耐圧容器との接触や導電性異物の侵入による短絡を防止するとともに、組電池形状を保持固定する役割を担っている。

### 従来の製作工程

海底でオフライン収録を行う海底地震計の組立には高い信頼性が求められる。特に組電池は機器電源となる重要な構成要素であり、以下の工程で製作されてきた（図 1）。

- 1) 単電池検査
  - ・電圧測定、外観確認
- 2) 溶接作業
  - ・スポット溶接による直列接続
  - ・絶縁テープを用いた端子面の絶縁保護
- 3) 電気部品半田付け作業
  - ・単電池群の両極タブ端子に電源ケーブルを半田付け
  - ・絶縁テープを用いたタブ端子の絶縁保護
- 4) 外装加工
  - ・絶縁テープ、梱包テープを用いた単電池群の包装
- 5) 完成検査

### ・電圧測定、外観確認

上記の工程において、外装加工では、電気に直接関係する作業がないにもかかわらず、多くの時間を費やしている（図 2）。外部短絡防止の信頼性を高めるべく、端子面の縁には絶縁テープを 2 重以上に貼り重ねる一方で、周側面の中央部は梱包テープで薄く軽量に仕上げる等、箇所に応じたテープや外装厚さにしており、作業が複雑である。またテープの細かな貼り付け位置や張力は、明確な作業基準の設定が難しいため、ばらつきを抑えることが困難であり、外装品質に影響を及ぼしていた。特に熟練度が低い作業による組電池において、ばらつきが顕著になっていた。過去には端子面の縁を覆うテープの貼り付け位置が的確ではなかったために、観測期間中にテープの位置がずれ、外装形状が変形した事例がある。変形により単電池群の導電性箇所が露出すれば、耐圧容器等との接触による外部短絡の危険性が生じる。

### 専用ケースの開発

必要数の組電池を効率的に準備するための取り組みとして、外装を単純化し、組電池 1 個当たりの製作時間を削減して、省力化を図ることとした。併せて、外装のばらつきが容易に抑えられるように外装を設計し、外装加工を改善したうえで、組電池製作の外部委託を推進することとした。

組電池の一般的な外装形態のひとつとして、熱収縮チューブによる包装がある。この形態では、端子面絶縁保護の当て板としてベークライト板、あるいは絶縁紙を採用した組電池もある。汎用性や加工性が高い材料を用いることで少量生産が容易になるとともに、単純な構成が組立性の高さに寄与している。一方、海底地震計用組電池では、形状は DD サイズ単電池の本数 2～4 本に応じた 3 種類に限られている。また海底地震計回収時に必要な浮力確保のため、外装重量は従来とほぼ同じか、それ以下に収める必要がある。さらに新たな外装加工では、機器や工具の使用を可能な限り排除するとともに、外装を構成する部品点数の削減により、作業者動作の低減を目指した。また事前に教育訓練を受けていない作業者でも、その場で作業可能な程の簡易な外装加工を目指した。これらの要件を高い水準で満たすため、熱収縮チューブによる包装を適用せずに、海底地震計用組電池に最適設計した専用ケースを新規開発した。

単電池群とほぼ同じ外形の専用ケースは、2 分割のカバー構造になっており、蓋に相当する上部カバーとケース本体に相当する下部カバーで構成されている（図 3）。それぞれのカバーは、単電池群の周側面の一部と端子面一面を覆うように立体的に成形しており、形状を安定させている。材質はポリ塩化ビニルで、材料としてオカモト株式会社製ノントックナジジを採用した（2019 年 9 月現在は同

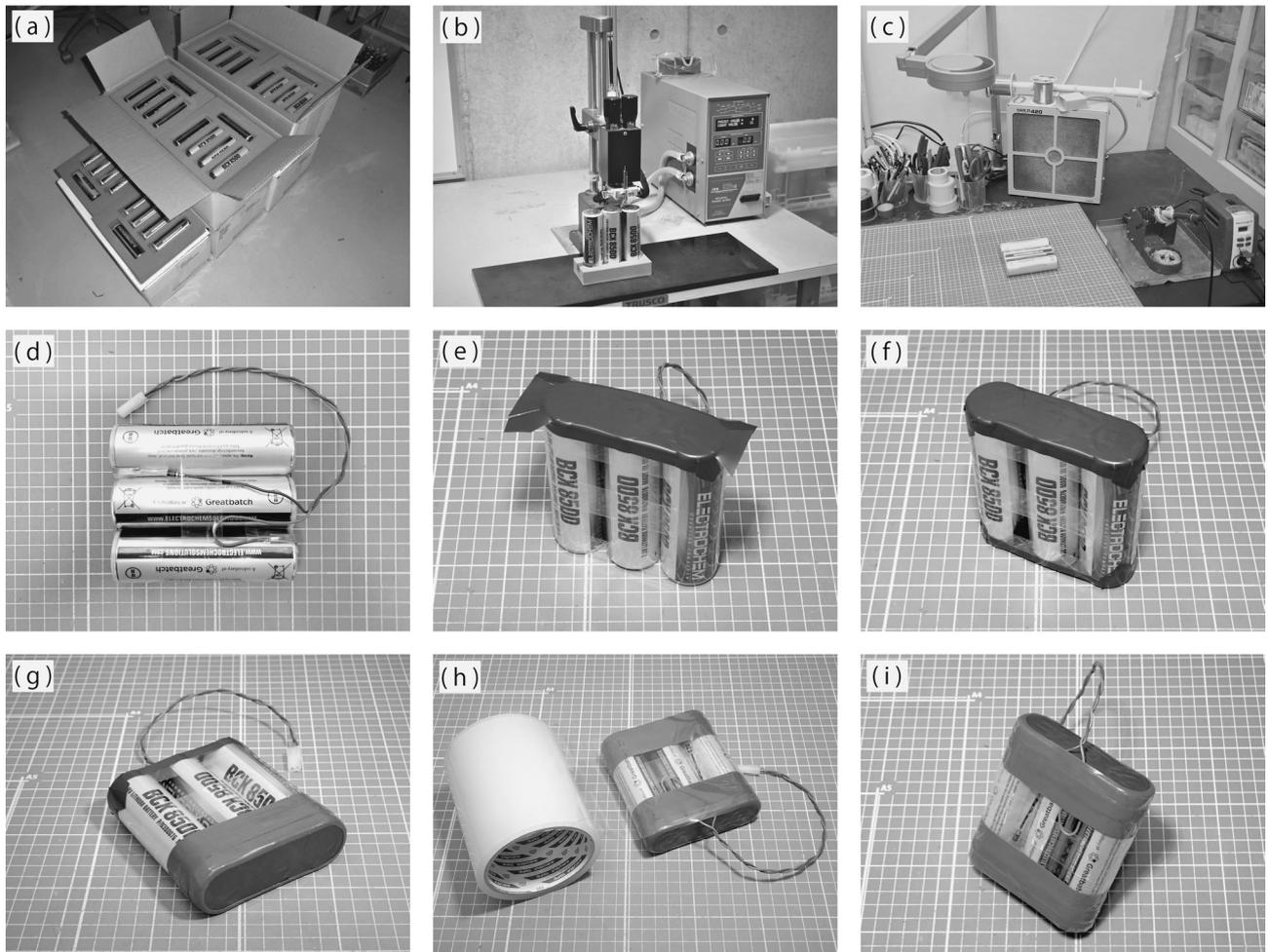


図 1. 組電池製作の従来工程。(a) 検査のため輸送用梱包が解かれた単電池。(b) 治具に固定されスポット溶接される単電池。作業にはインバータ式溶接機を用いる。溶接ヘッドはペダルの踏み込みにより駆動する(足踏式)。(c) 半田付けが行われる作業場。温調式半田ごて(右下)や吸煙器(中央)を設置し作業環境を整えている。(d) 両極タブ端子に電源ケーブルが半田付けされた単電池群。(e) 端子面一面に絶縁テープが貼られた単電池群。端子面とその周囲の形状に合うように、テープを裁断している。(f) 端子面両面とその周囲が絶縁保護された単電池群。(g) 端子面の縁も覆うように周側面片端に絶縁テープが貼られた単電池群。(h) 周側面両端に絶縁テープを貼り、さらに梱包テープで全面を覆っている様子。(i) 完成した組電池。

等品の日本ウェーブブロック株式会社製ナシジクリア(日本ウェーブブロック, 参照 2019)を採用している)。ポリ塩化ビニルは、絶縁性、難燃性に優れており、組電池ケースの材質として適している。また他のプラスチック素材と比較して耐候性が高く、長期にわたり特性を維持できる。素材を溶かして接着するウェルダー加工への適性にも優れており、この信頼性が高い加工を用いて、シート状(厚さ 0.3mm)の材料から裁断されたカバー部品を溶着し、立体的に成形している。またノンタックナシジでは、シート片面にスリップ性(滑り性)が高い梨地処理が施されており、この梨地面を内側にしてカバーを成形することで、単電池群を収納し易くしている。その一方、半透明で適度な透視性は確保しており、溶接・半田付け箇所の絶縁保護に透明色の絶縁テープを用いることで、組電池完成後に当該箇所の状態をケース越しに確認できる(図 4)。ケース重

量は、従来工程による外装重量とほぼ同じに仕上げている。ノンタックナシジの製品ラインナップは充実しており、今回採用した厚さ 0.3mm の他、0.2mm も選択肢になりうる。それにより、重量は約 3 割削減できるが、タブ端子の鋭利な箇所等でケースが破ける危険性を可能な限り減らすために、重量は同等とし、厚みに余裕を持たせた。また、ケースは安価なポリ塩化ビニル製であるため、海底地震計による観測が終了した後、組電池から外さずに、電池廃棄時の短絡防止用としてそのまま処分することとした。この方針により、上下カバーが単電池群に強く密着するよう設計でき、形状の保持固定力を高めている。電源ケーブルをタブ端子から外す際には、ケース越しに内部配線箇所が確認できるため、半田付け箇所周辺のみを切断してカバーを開き、作業を行うこととした。

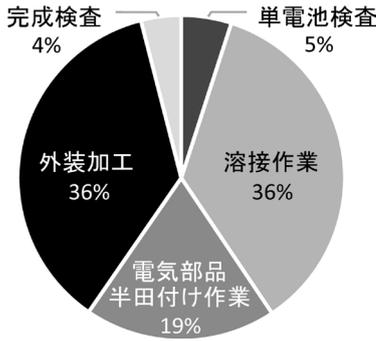


図 2. 従来工程による3直列組電池製作の作業時間割合

### 専用ケースの導入

開発したケースを用いた外装加工は、下記の工程で行われる。

- 1) 上部カバー開口部を軽く引き延ばして広げ、単電池群に被せる。
- 2) 同様に下部カバーを被せ、上部カバーとの境目から電源ケーブルを引き出す。上下カバーで覆われた単電池群は、ケース内での遊動が抑えられる。
- 3) 上下カバー境目にテープを貼り、ケース内への異物侵入を防ぐ。

上記の外装加工は、特定の機器や工具が不要である。また端子面一面と周側面の一部をまとめて覆うケース部品2点と、カバー境目の封に用いるテープから構成される単純な外装により、作業動作を大幅に減らしている。外装加工の比較で作業時間を約75%削減し、全体工程の比較でも約27%削減して、省力化を実現した(図5)。さらに作業の簡易化により、熟練度が影響を及ぼす作業が排除され、外装のばらつきが抑えられている。また教育訓練の際に熟練者や監督者は作業指導し易く、初心者は習得し易くなり、教育が容易になる効果も得られている。

ケースは試作段階から外部に生産委託した。生産では溶着作業で用いる金型が必要である。試作段階では簡易金型を用いたが、生産性向上を図るため、単電池直列本数に応じて新たに専用金型を製作した。これらの金型を用いて生産をすすめ、3直列のケースを2013年2月から、2・4直列のケースを同年3月から導入した。納期は安定しており、生産委託先の国内工場の繁忙や発注個数に応じて多少変動するが、2~3ヶ月で納品される。外装品質はケース品質にも依存しているが、ケースの破れや溶着箇所が剥がれが生じたことはなく、導電性箇所の露出は防止されている。またケースが組電池形状を保持固定しており、問題は生じていない。平均年間約1500個が生産委託先から出荷され、他大学や他機関でも使われている(図6)。

ケースを用いた組電池製作の外部委託を2013年7月か

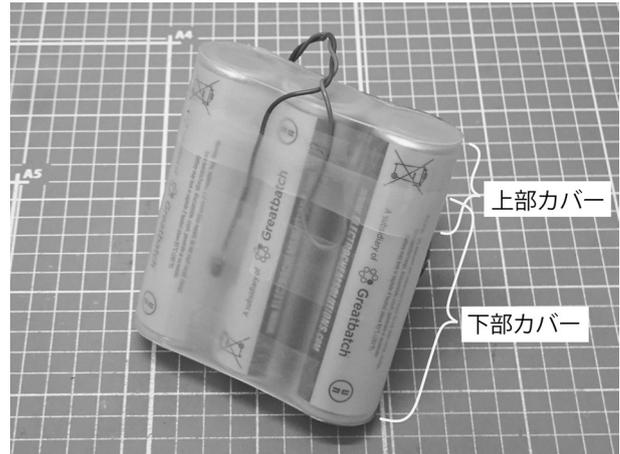


図 3. 組電池に適用した専用ケース。上部カバーと下部カバーは約20mm重なっている。単電池群全体を覆い、異物の侵入を防止している。

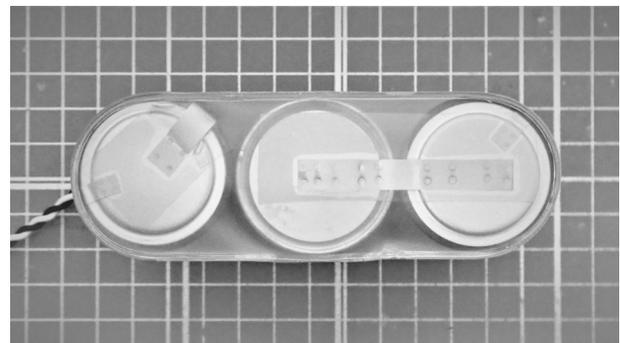


図 4. ケース越しに見た端子面。スポット溶着箇所の状態が確認できる。

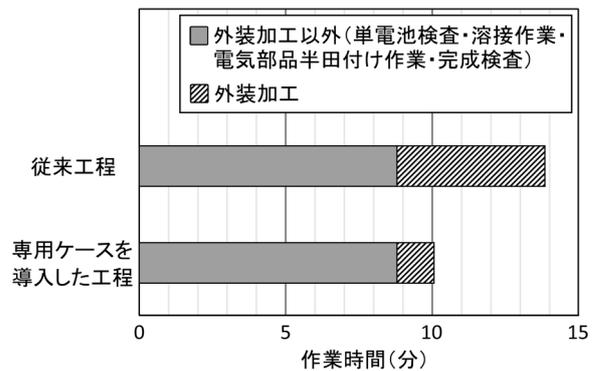


図 5. 3直列組電池1個当たりの製作時間の比較。構成部品・資材を手元に置いた状態から始め、各工程で5個ずつ製作した場合の平均時間で比較した。

ら開始した。必要に応じて、海底地震計の運用計画をもとに組電池製作個数を取りまとめ、都度委託を行っている。委託対象範囲は単電池検査から完成検査に至るまでの全工程を基本としている。2018年度に実施した委託件数は5件で、計966個が製作された(図7)。2019年度も委託は実施されており、製作手段のひとつとして確立している。

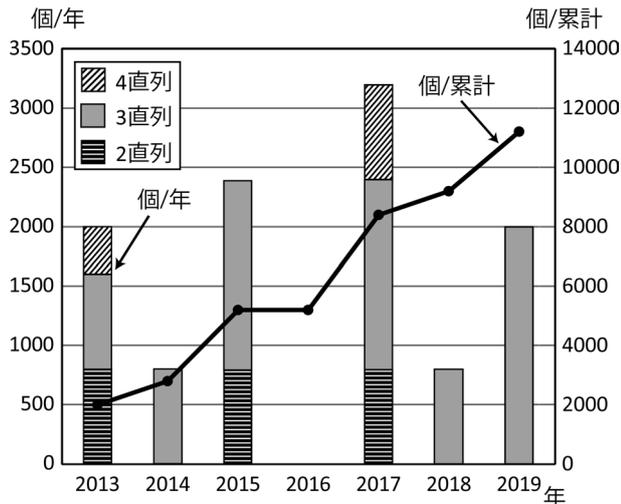


図 6. 専用ケース出荷個数の推移. 他大学や他機関への出荷分も含む. 2019年9月までの出荷分を集計した.

海底地震計整備の繁忙に影響されない組電池準備が可能となっている.

### ま と め

海底地震計用組電池の製作工程の見直しを行った. 単電池群の端子面一面と周側面の一部をまとめて覆う部品2点から構成される専用ケースを開発し, 2013年から導入した. 従来の外装加工と比較して, 作業時間が削減され, 省力化を実現させた. さらに作業者の熟練度に影響されない, 安定した外装品質が容易に得られるようになった. また, 組電池製作の外部委託を推進し, 製作手段のひとつとして確立させた. 製作の省力化と外部委託により, 効率的な組電池準備が可能となった.

謝 辞: 東和サーキット株式会社の日黒達也氏には, 専用ケースの開発において初期の試作段階から生産に至るまで数多くの有益な情報を提供していただきました. 同じく東和サーキット株式会社の中山茂生氏と小羽由里子氏には, 専用ケースを詳細に検証していただきました. 東京大学地震研究所の望月公廣准教授には, 本稿を執筆するにあたり有益なご助言をいただきました. 査読者の酒井慎一准教授と馬場聖至准教授には, 本稿を改善するうえで有益なご指摘をいただきました. ここに記して感謝申し上げます.



図 7. 2018年7月に実施した外部委託の作業時の様子. 専用ケースを用いた2-4直列の組電池計196個が製作された. (a) 作業前の組電池構成部品. (b) 製作された組電池. 作業完了報告書から引用.

### 文 献

- Electrochem, Product Information, <https://electrochemsolutions.com/resources/product-information/default.aspx>, (参照 2019-9-30).
- 金沢敏彦・篠原雅尚・塩原 肇, 2009, 海底地震観測の最近の進展 —海底地震観測システムと海底における自然地震観測の進展について—, 地震2, **61**, 55-68.
- 宮川幸治, 2013, 東京大学地震研究所技術部の概要と業務紹介, 第9回駒場キャンパス技術発表会技術報告集, 41-46.
- 日本ウェーブロック, ナシジクリア, <http://www.wavelock.co.jp/shop/2/maker/5/item/NASIJL/>, (参照 2019-11-12)
- Vitrocell, Products, [http://www.vitrocell.com/data/product\\_ch/5c9c1e80e440f.pdf](http://www.vitrocell.com/data/product_ch/5c9c1e80e440f.pdf), (参照 2019-11-12).