

## ビーム診断機器および周辺機器のプロトタイプ製作における内製化

### IN-HOUSE PRODUCTION OF PROTOTYPES FOR BEAM DIAGNOSTIC EQUIPMENT AND PERIPHERALS

下ヶ橋秀典<sup>#</sup>, 帯名崇

Hidenori Sagehashi <sup>#</sup>, Takashi Obina

High Energy Accelerator Research Organization

#### Abstract

The KEK PF Beam Diagnostics and Control Group has been developing and improving various beam diagnostic instruments. In the course of the development, we have asked outside contractors and the Mechanical Engineering Center for the fabrication of molded products and circuit boards. In the case of development through repeated prototyping, outsourcing the production would be costly and time-consuming. In recent years, 3D printers have been commonly used for modeling, and even relatively inexpensive manufacturing equipment can output modeling of the quality we require. If it is a simple fabrication, the use of CAD and a 3D printer makes it possible to produce prototypes (including full-scale production) in a quick cycle, thus speeding up the development process. On the other hand, there is a growing number of companies that offer inexpensive and quick turnaround services for circuit board production, where we can design the circuit board ourselves using circuit design CAD, and mount the components by placing orders online. In this paper reports, we will introduce the design and manufacturing methods of the fabricated objects, tips for manufacturing with 3D printers, and also introduce the manufacturing of circuit boards by ordering on the web.

#### 1. はじめに

KEK PF ビーム診断・制御グループではこれまで様々なビーム診断機器の開発や改良を行ってきた。開発を進めていく中で造形物の製作や回路基板製作は外部業者や KEK 機械工学センターに依頼を行ってきた。試作を繰り返しながら開発を行う場合、製作を外部に依頼すると、費用と時間を要することになる。近年、造形物では 3D プリンタが一般的に利用され、比較的安価な装置でもこちらの求める品質の造形物が出力可能となっている。容易な造形物の製作であれば CAD と 3D プリンタを使用することにより、試作品を(本製作も含めて)早いサイクルで製作が可能となり、開発のスピードも上がる。一方、回路基板製作でも回路設計 CAD で自ら設計を行い、Web 発注により部品実装まで行える安価で短納期なサービスが充実してきている。本報告では製作した造形物の設計や製造方法、3D プリンタで製造する上でのコツ等を紹介するとともに、Web 発注による回路基板製作について紹介する。

#### 2. 3D プリンタと 3DCAD について

これまでに 2 台の 3D プリンタを使用してきた。初めに使用したものは XYZprinting 社製の da Vinci 1.0 であった。現在使用しているものは Zortrax 社製の M300 である (Fig. 1)。両者とも熱溶解積層方式のプリンタである。熱溶解積層方式は、加熱したプリンターヘッドからフィラメントと呼ばれる溶けた樹脂を押し出しながら積層する方法で、材料費も比較的安く、安全に使用出来ることから、家庭用・ホビー用プリンタとして多く利用されている。ただし、積層の断層が出てしまうため、精度や仕上がりが粗いのが欠点である。初めに使用した da Vinci 1.0 では安

価なモデルであったため、主に精度を必要としない簡便な治具、例えばケーブルコネクタ用絶縁保護ケース等を製作していた。M300 では  $300 \times 300 \times 300$  mm の造形が可能で、製作精度も比較的高いことから、治具の製作はもちろんのこと、光センサのシンチレータ内蔵遮光ケースや電子回路基板の収納ケース等、複雑な形状の造形物を製作している。

3DCAD については当初、無償の Autodesk 社製の 123D シリーズを使用していたが、サービス終了に伴い同社製の Fusion 360 を使用している。製図の知識が無くても簡単に 3D モデルのデザインが可能であり、3D プリント用データに書き出すことが可能である。



Figure 1: 3D printer.

#### 3. 光センサ用遮光ケースの製作

診断用ロスモニタの製作を行った。これはシンチレータを光センサの受光窓面に近接配置した遮光ケースを製作した例である。光センサには光電子増倍管モジュールを使用し、シンチレータは 5 mm 角の CsI を使用している。

<sup>#</sup>hidenori.sagehashi@kek.jp

### 3.1 設計

遮光ケースは 2 つのパーツから構成される。1 つは光センサの受光窓面側で、シンチレータを保持する場所と遮光のために壁に厚みを持たせている。もう一つは光センサの配線側で、ケースとモジュールの隙間から光漏れが生じないようにするための密閉用のホルダである。2 つのパーツの接合部は直接内部が見通せない様に段差を付けており、それを組み合わせることで光の侵入を抑えている。そのため、接合部はある程度の製作精度が求められる。2 つのパーツは自己融着テープ(黒色)を多段に巻き付けることにより接合する。設計図面を Fig. 2 に示す。

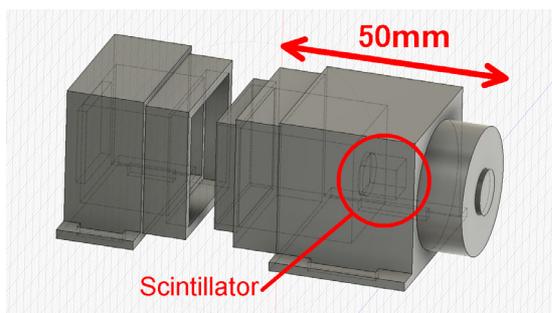


Figure 2: Light-shielding case for photo sensor.

### 3.2 製造(出力)

ケースには遮光性が求められるため、黒のフィラメントを使用した。2 つのパーツの接合面とシンチレータを保持する箇所はある程度の精度が求められるため、その面を上にして製作を行った。積層型 3D プリンタの場合、重力の関係で精度を出したい面を上にして製作すると良好な結果が得られる。

3D プリンタで製造する際には製造条件等を設定しなければならない。製造条件とは造形物の 3D プリンタテーブル(プラットフォーム)への配置から始まり、ラフトと呼ばれるプラットフォームと造形物をつなぐ土台の設定、サポートの有無、フィラメントの種類や射出の太さ・速度、造形物のフィラメント密度、等々がある。Figure 3 は製造条件設定後の製造プレビュー画面である。

製造後、ラフトやサポート材を除去した後、組み立てを行う。Figure 4 (a) はシンチレータを組みこんだ様子である。また、Fig. 4 (b) は光センサを収納する直前の様子である。

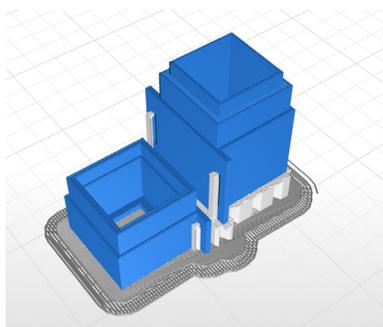


Figure 3: Preview screen.



(a) Scintillator

(b) Photo sensor

Figure 4: Assembly.

## 4. BPM 信号検出回路用筐体の製作

PF-AR 直接入射路用ログアンプ型 BPM 信号検出回路用の筐体を製作した例である。BPM 信号検出回路基板 4 枚、DC 電源基板 1 枚、通電表示 LED が 1 個収納される。

### 4.1 設計

筐体は回路基板を固定のみ行い、外部からの信号ケーブルは直接基板へ接続するものとして、ケースとの干渉は極力避ける様にした。SMA、LEMO のコネクタ部分はコネクタ径より一回り大きく穴を開けて若干突出するようにした。DC ジャックは四角い開口部にして部品面と位置を合わせるようにした。LED は球が緩みなく挿入可能なサイズの穴を開け、内側からホットボンドで固定するようにした。設計図面を Fig. 5 に示す。

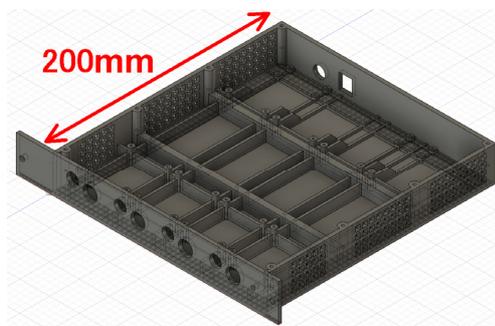


Figure 5: Cabinet for circuit boards.

### 4.2 製造(出力)

精度を出したい面を上(筐体の蓋面)にすると、水平が大きくなってしまい、反りが出やすい。ABS フィラメントだと反りが出て造形不可であった。フィラメントを変更して反りの出にくい HIPS にしたが、改善はするもラフトと造形物の接合が不十分で剥がれてしまうことがあった。最悪の場合、剥がれた造形物がステッピングモータを止めて脱調を引き起こし、ヘッドの位置がずれてしまうことがあった。対策として、ラフトと造形物の間にアンカーとなるようなデザイン(Fig. 6 (a))を施し、接合強度を上げることによって問題を解決した。さらに、3D プリンタの上部にチャンバ内の温度を一定に保つためのカバーを設置した。フィラメントの HIPS に関してはオレンジオイルで溶解が可能であるため、フィラメント出射ノズルの洗浄が容易に行えるようになった。ただし、HIPS の経年劣化、耐久性についてはまだ確認段階である。3D プリンタで出力し

た結果を Fig. 6 (b)に示す。

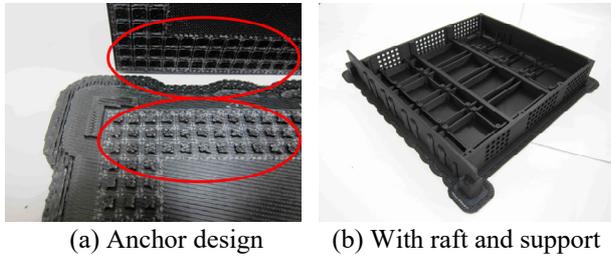


Figure 6: Output result by 3D printer.

## 5. Web 発注による回路基板の製作

ビーム診断機器等の内製化において、もう一つ重要な項目として、電子回路基板の製作がある。1枚のみのプロトタイプ製作であれば手はんだでの試作も可能であるが、ある程度の数量を準備しなければならない場合、またはボールグリッド等の手はんだでは取り付け不可能な部品を実装する場合、プリント基板の製作と部品実装が必要となる。電子回路設計用 CAD でプリント基板を設計し、電子データでの Web 発注により基板製造会社に製作を依頼している。さらに、実装サービスもあり、部品を送付(部品調達依頼も可能)することで完成品まで仕上げる事が可能である。比較的安価で短納期のため利用している。

## 6. BPM 信号検出回路基板の製作

BPM 信号検出回路基板製作の例である。4.の BPM 信号検出回路用筐体に収納する回路基板である。基本的に Log AMP を用いた BPM 信号処理回路であり、Band Pass Filter(BPF)、Log AMP、Peak Hold、Reset(Discharge)で構成されている[1]。

### 6.1 設計

電子回路設計用 CAD に回路図を入力し、プリント基板のサイズを決め、CAD 上で電子部品を配置して配線を行うのが設計の流れである。この例では信号検出回路用筐体と同じタイミングで設計を行った。そのため、回路基板のみで外部からのケーブル配線等が完結するようにした。CAD は EAGLE CAD を使用している(Fig. 7)。

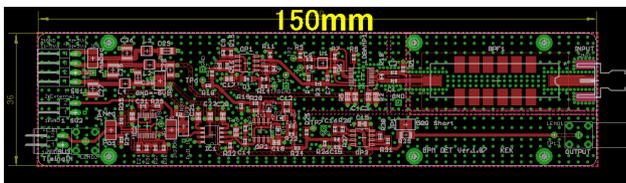


Figure 7: Printed circuit board (PCB) design.

### 6.2 製造(Web 発注)

発注前に CAD 上でデザインルールチェックを行う。製造会社のデザインルールファイルが用意されており、それを用いてチェックを行うことができる。基板製造には主にパターン、シルク、レジスト、外形、ドリルのデータが必

要になる。また、部品の実装を行っているので、部品リストと実装図が必要である。さらにこの例では、リフロー実装を行うため、メタルマスク用のデータが必要であった。そして実装する部品を送る必要がある。この例では 10 枚の製造と実装で納期は 11 日であった(Fig. 8)。

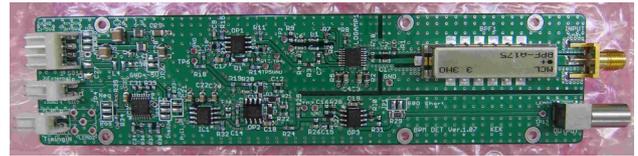


Figure 8: Circuit board.

## 7. 内製化で完成した機器(BPM 信号検出器)

4.で製作した BPM 信号検出回路用筐体に 6.で製作した BPM 信号検出回路基板を収納し、電子機器として完成させた(Fig. 9)。電源基板も Web 発注により製作している。筐体は NIM ビン電源に装着されるため、NIM ビンのレールに合わせたアルミパネル(厚さ 1.5 mm)を筐体の蓋を兼ねて装着した。固定はタッピングビスにより行った。タッピングビスの推奨穴径よりも小さいサイズの穴径を 3D プリンタで製作し、その後ドリルで推奨穴径に加工した。そうすることでタッピングビスの接触面がより造形物と密に接触可能となる。アルミパネルの加工、ハーネスの製作は業務委託の方に依頼した。

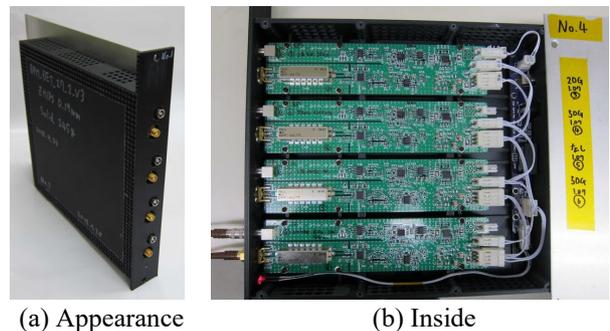


Figure 9: Inside and appearance of the equipment.

## 8. まとめ

今回、ビーム診断機器および周辺機器のプロトタイプ製作における内製化ということで報告を行った。内容としては 3D プリンタでの製造と Web 発注によるプリント基板の製造のみであり、内製化と言うには少々大層な感じである。しかしながら、自前で設計を行い製造も自前もしくは Web 発注で完結することは、コストや開発スピードのみならず、技術を自ら持つことになり、その技術の蓄積が財産になると考えられる。

## 参考文献

- [1] H. Sagehashi *et al.*, "PF-AR 直接入射路用ログアンプ型 BPM 信号検出回路の開発", Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, July 31 - August 3, 2019, Kyoto, Japan, pp. 794-796.