

理研における研究工工作支援 ～ 超精密加工および3Dプリンティングを中 心として～

国立研究開発法人理化学研究所

光量子工学研究領域

先端光学素子開発チーム / 技術基盤支援チーム

山形 豊



家族同伴で飯能天覧山へ遠足にでかけた工作係の一行(昭和4年春)
(特集・理化学研究所60年のあゆみ, 自然'78-12増刊, 科学雑誌 中央公論社)

研究水準を支えた工作陣
— 伝統を形成した技術者集団 —
第6回 可視赤外線観測装置技術
ワークショップ

2016/11/24

11. 12. 2015

2

理研における研究工作（背景）

理研が初期から力を入れたのが
工作掛で、腕と誇りを身に着けた
人々であった。

大正 6年（1917）

財団法人 理化学研究所創立

工作係：創設時～1940年（1929年100名～1940年180名）
科学機械製造部：1941年～1945年（200～600名余り）
皇国第 工場：1945年（終戦後解散）
工作係：1945年末（再設30名，試作工場 - 機器工場 - 試作部80名）
工作部：1958年～1977年（70名）
特集・理化学研究所60年のあゆみ，自然'78-12増刊，科学雑誌 中央公論社

大正10年（1921）

（第3代所長 大河内正敏） 工作係設立（10人）



旧理研1号館

昭和33年（1958）

特殊法人 理化学研究所設立 試作部（94人）

昭和38年（1963）

工作部 / 3課



旧工作部棟

（68人）

昭和55年（1980）

技術部 / 3課（58人）



工作室

昭和59年（1984）

研究基盤技術部 / 3室（42人）

昭和63年（1988）

研究基盤技術部 / 室改編（23人）



精密な仕上げ作業

平成10年（1998）

工学基盤研究部 / 研究機器開発室（13人）

平成11年（1999）

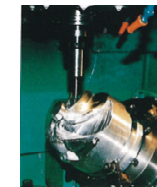
先端技術開発支援センター / ラピッドエンジニアリングチーム（11人）

平成14年（2002）

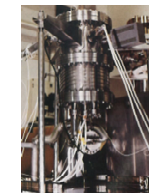
独立行政法人 理化学研究所



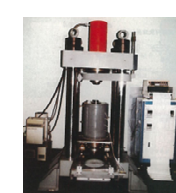
超高速ミリングマシン



同時5軸制御マシニングセンタ



極高真空装置



超高压化学反応装置

平成15年（2003）

先端技術基盤部門 / 先端工作支援チーム（4人）

平成19年（2007）

平成20年（2008）



第6回

平成25年（2013）以降

可視赤外線観測装置技術
研究基盤技術棟
94年の伝統
先端技術基盤部門 / 先端工作支援チーム（8人）³



業務内容

光量子工学研究領域 光量子技術基盤開発グループ

研究工作支援

技術開発



技術相談

- ・旋削加工
- ・フライス加工
- ・研削加工
- ・放電加工(形彫り、ワイヤ)
- ・レーザー加工など
- ・溶接、ロー付け、真空テスト

機械設計

Mechanical design

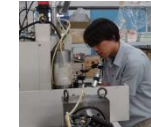
切断・接合・形状創成

- ・切断加工
- ・ダイヤモンドブレード切断
- ・ラッピング
- ・超音波加工

電子回路設計・製作

Design and production of electronic circuit

- ・PCB加工
- ・各種測定器・計測



技術開発

機械工作

Mechanical processing

ガラス加工

Glass processing

回路設計・基板製作・実装・調整

組立・調整・修理

技術基盤支援チーム

Advanced Manufacturing Support Team



ガラス加工

技術相談・技術指導

Technical consultation

マシンショップ管理・運営

Management of machine-shop



レーザー加工機による加工

- ・形状測定、表面あざ測定
- ・表面処理・外注対応

穴あけ・ねじ切り・削り 即時対応

Quick response of drilling and cutting

積層造形

Additive Manufacturing



マシニングセンターによる加工



ワイヤカット放電加工機による加工 4

“ものづくり”による研究支援・技術開発

機器設計担当者4名, 加工技術者8名(内非常勤5名), 事務担当者1名
技術相談受付: 和光・南地区 研究基盤棟103室

2016/11/24

第6回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ



主力NC工作機械（研究基盤棟）



主軸回転数:
8,000 rpm
X: 600 mm
Y: 460 mm
Z: 485 mm

3軸マシニングセンタ（1995）



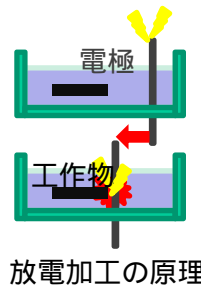
主軸回転数:
30,000 rpm
X: 1,020 mm
Y: 560 mm
Z: 400 mm

5軸マシニングセンタ（1995）



主軸回転数:
6,000 rpm
XZC軸複合加工

CNC旋盤



ワイヤカット放電加工機



出力: 3.5kW
X: 1,200 mm
Y: 1,220 mm
Z: 16 mm

CO₂レーザー加工機



ポイントランナー

名称	仕様・型式等	名称	仕様・型式等
CNC旋盤	Mazak QTN, Takigawa 2台	ワイヤ-放電加工機	Mitsubishi FA10S
マシニングセンター	Matsuura MC600,FX5 2台	CO ₂ レーザー加工機	Mitsubishi 1212HD
汎用機械、その他	旋盤・フライス盤・ボール盤他, 溶接機, プラスト装置, 積層造形(インクジェット・樹脂押し), 計測器(共焦点顕微鏡・SEM・粗さ計・3次元測定器等)		

マシンショップ (研究本館)



場所	研究本館地下1階B31
利用時間	24時間オープン
利用方法	自由に利用 記録ノートへの記載
設備	旋盤(4台) フライス盤(縦, 横) ボール盤(4台) 切断機(帯鋸盤, 弓鋸盤) シャーリング(足踏み式, コーナカッター) 折り曲げ機(ベンター) 研磨機(グラインダー) やすり, 万力(バイス), 定盤, ハイトケージ等 各種工具類

使用にあたっての注意事項

共同利用施設の一つである「マシンショップ」は、研究者の皆様がいつでも自分で工作できるようにと意図して整備したものです。ただし、その利用にあたっては、利用者全員が安全で有効に活用できるよう、ルールを遵守ください。特に安全と、整理・整頓・清掃をお願いします。

1. 安全講習の受講が必須です。修了証をお持ちでない方の利用はお断りします。
2. 工具・装置等の破損・不具合・紛失等に気付いたら、使用しないでください。担当者が対応しますのでご連絡ください。
3. 使用方法などで分からないこと、不明な点をご相談ください。
4. すべての機器は自己責任のもとでご使用ください。
5. 使用後は記録ノートへ必要事項を記入するとともに、清掃・整理を励行してください。

6

2016/11/24

第6回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ



工作支援業務実績の推移

状況：人員少なく，受注件数増加
効率化と部品加工

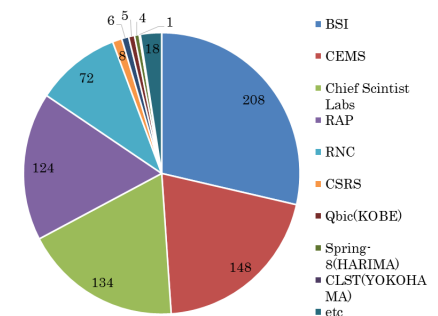
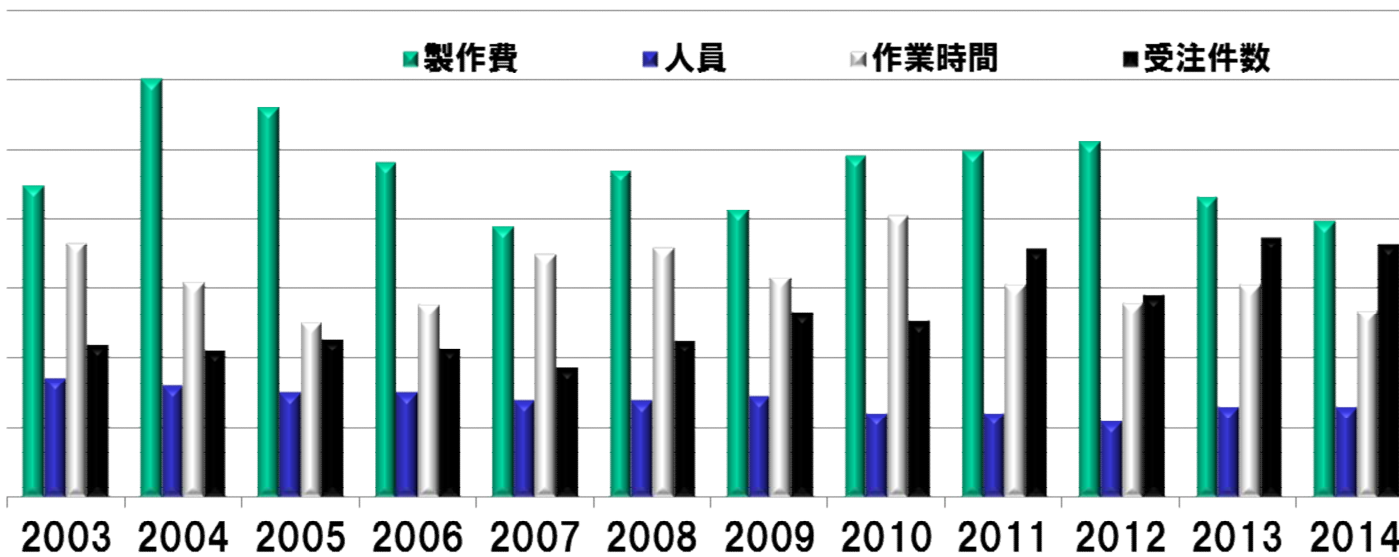
全理研に対応

年度		補助材料費 (千円)	主要材料費 (千円)	製作費 (千円)	人員 (人)	総作業時間 (時間)	× 800円	総受注件数
平成	西暦							
15年度	2003	5,862	3,130	8,992	17	7327.5	¥5,862,000	440
16年度	2004	4,931	7,131	12,062	16	6163.4	¥4,930,720	423
17年度	2005	4,022	7,195	11,217	15	5027.3	¥4,021,840	456
18年度	2006	4,426	5,201	9,627	15	5532.2	¥4,425,760	429
19年度	2007	5,580	2,232	7,812	14	6975.5	¥5,580,400	373
20年度	2008	5,751	3,658	9,409	14	7189.2	¥5,751,350	453
21年度	2009	5,063	3,211	8,274	14.4	6,329.5	¥5,063,600	532
22年度	2010	6,477	3,359	9,836	12	8,096.5	¥6,477,200	508
23年度	2011	4,890	5,087	9,977	12	6,113.0	¥4,890,400	712
24年度	2012	4,472	5,822	10,294	11	5,590.0	¥4,472,000	581
25年度	2013	4,884	3,773	8,656	13	6,104.5	¥4,883,600	747
26年度	2014	4,305	3,643	7,947	13	5,381.0	¥4,304,800	728

[FY 2014]

728 (in total)

- BSI・・・208 (29%)
- CEMS・・・148 (20%)
- Chief Scientist Labs
・・・134 (18%)
- RAP・・・124 (17%)
- RNC・・・72 (10%)
- CSRS・・・8 (1%)
- CLST(YOKOHAMA)
・・・6 (1%)
- Qbic・・・5 (1%)
- SPring-8・・・4 (1%)
- etc・・・19 (3%)



2014年度依頼工作実績

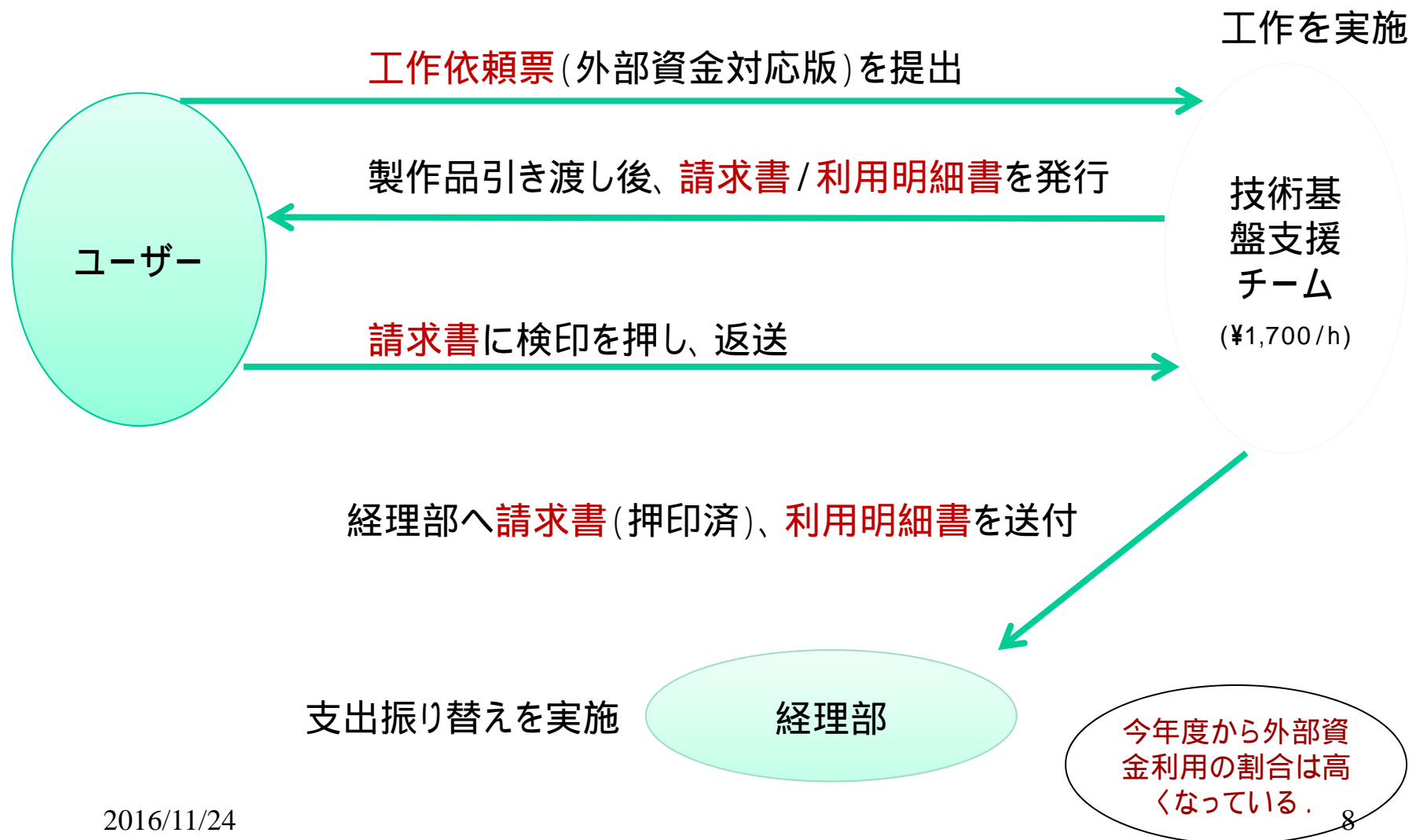
7

勤5名), 事務担当者1名)



外部資金への対応（平成27年度より）

外部資金利用時の工作依頼の流れ



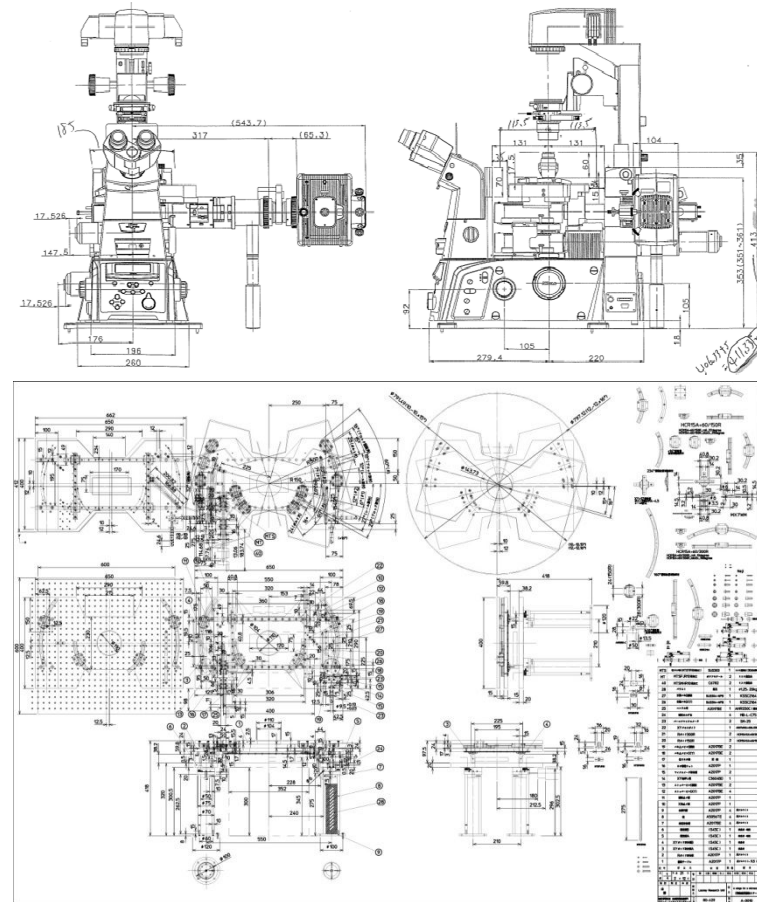
2016/11/24

第6回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ

設計製作事例



X,Y and rotation stage for microscope
(Launey Research Unit)



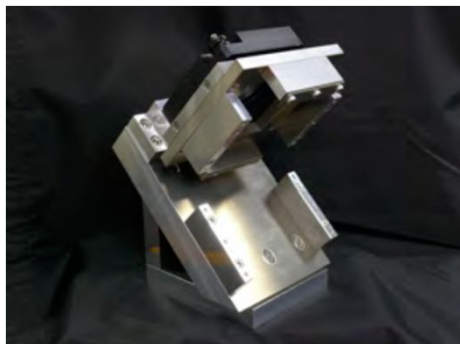
設計仕様
XY移動ストローク 20 mm
回転角度： 30度
移動分解能： 10 μ m

2016/11/24

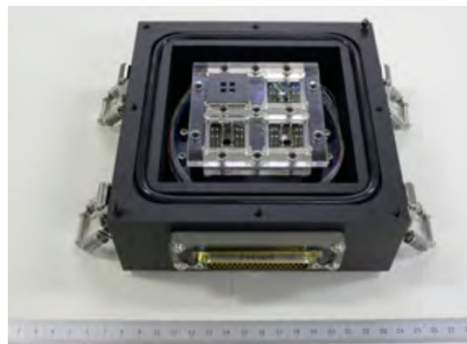
第6回 可視赤外線観測装置技術
ワークショップ

9

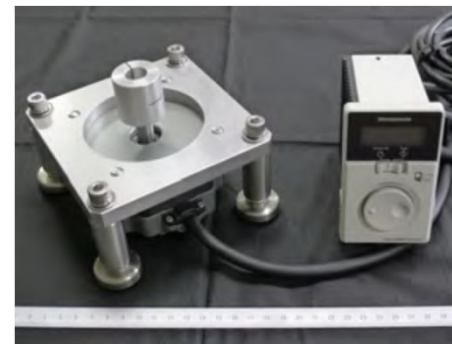
製作事例(2015年度)



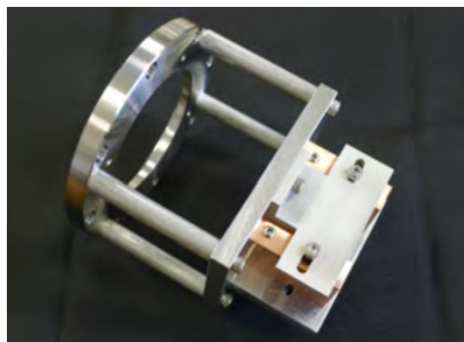
Roof mirror holder / Prism holder
(アト秒科学研究チーム)



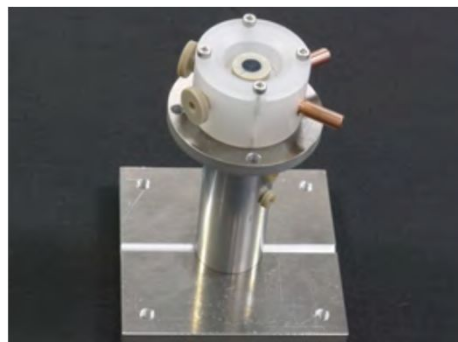
測定チャンバーの製作
(光電子デバイス工学研究チーム)



回転数校正装置
(情報基盤センター)



エミッタンスメータ用カメラ治具製作
(加速器基盤研究部)



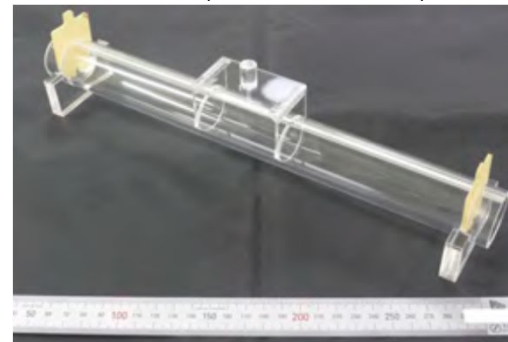
ヘリコイド分光電気化学セル 作製
(光電子デバイス工学研究チーム)



顕微鏡対物レンズ直付け型LED赤外ユニット
(行動神経生理学研究チーム)



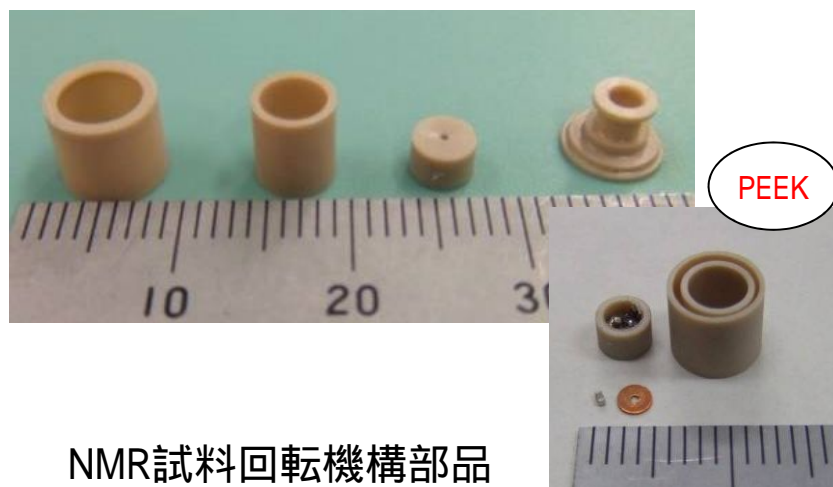
ペリスタポンプコントローラー
(細胞シグナル動態研究グループ)



アクリルチューブ(スリット入り)
(発生遺伝学制御研究チーム)

第6回 可視赤外線観
測装置技術ワーク
ショップ

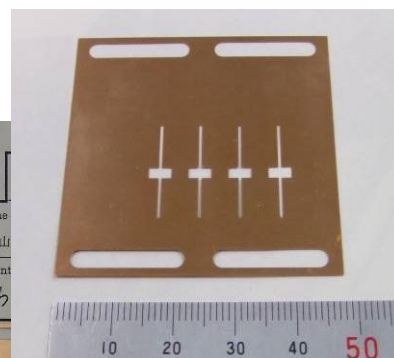
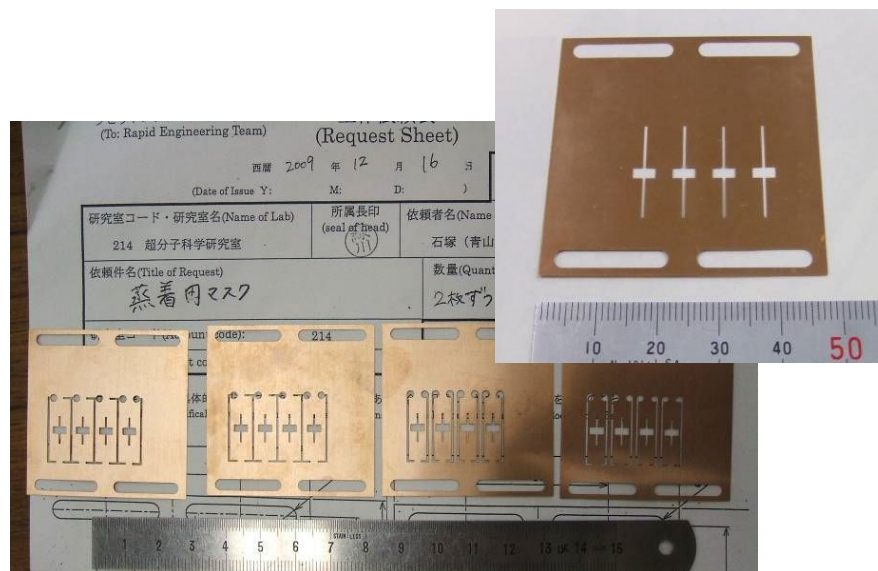
製作事例（小型部品・部品加工）



NMR試料回転機構部品
（物質構造解析チーム）



テフロン容器
（田原分子分光研究室）



中空ファイバチャック

2016/11/24

蒸着用マスク 第6回 可視赤外線観測装置技術（光バイオプシー開発研究ユニット）
ワークショップ

11

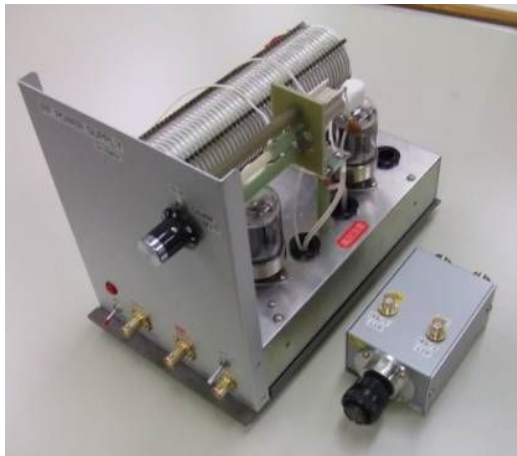
製作事例（電気工作）



電子回路：増幅器
(製作期間/研究室：2ヶ月, 牧島宇宙放射線研)



I-V変換回路
(河野低温物理研究室)



イオントラップ用RF (3 ~ 9 MHz) 電源
2016/11/24 (鈴木化学反応研究室) 第6回



可視赤外線観測装置技術 ワークショップ
高圧及びロジック回路 (宇宙放射線研究室)

製作事例（ガラス加工）



Glass chamber
2 weeks, Topochemical Design Lab



原子蛍光測定器
(応用原子核物理研究室)

技術・技能の伝承が困難な加工.



エッチング用メッシュ
2016/11/24(石橋極微デバイス研究室)第6回



偏極³He標的セル

可視赤外線観測装置技術
ワークショップ

Additive Manufacturing技術の開発

[加工法] 立体の断面形状通りに材料を自動的に付加.

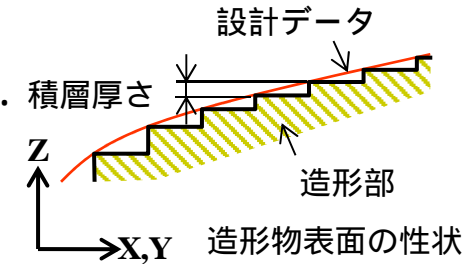
付加加工法 (積層造形法)

[おもな利点] 除去加工では困難な複雑形状の立体が容易に得られる.

[おもな用途] 製品開発における迅速な試作品製作.

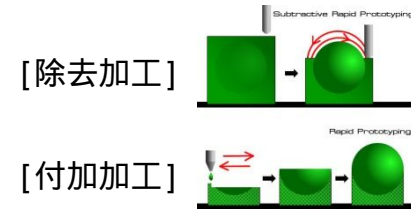
“ Rapid Prototyping ” *

[造形物の特徴] 積層による表面の段差.



Additive Manufacturing **

- 光造形法 (Vat photopolymerization)
- 粉末焼結積層造形法 (Powder bed fusion)
- 粉末固着法 (Binder Jetting)
- シート積層法 (Sheet lamination)
- 溶融樹脂押し出し法 (Material extrusion)
- インクジェット法 (Material Jetting)
- 金属粉末レーザー溶融法 (Directed energy deposition)



*1980年小玉秀男氏の特許出願「立体図形作成装置」(光造形法)が最初の発明と認識されている.

**2009年米国ASTM国際標準化会議において規格化された.

ラピッド・プロトタイピングシステム開発チーム (1993)

高速切削加工, 5軸制御, CAD, 計測, 光造形法等の開発

1. ポリゴンミラーを用いた高速高精度光造形機 Vat photopolymerization
2. ABS樹脂を用いた積層切削加工機 Sheet lamination
3. 多色粉末積層造形システムの開発 Binder Jetting
4. 人工骨成形への応用 Binder Jetting
5. 地域企業との連携・協力 (3Dプリンタの活用) Material extrusion

2016/11/24

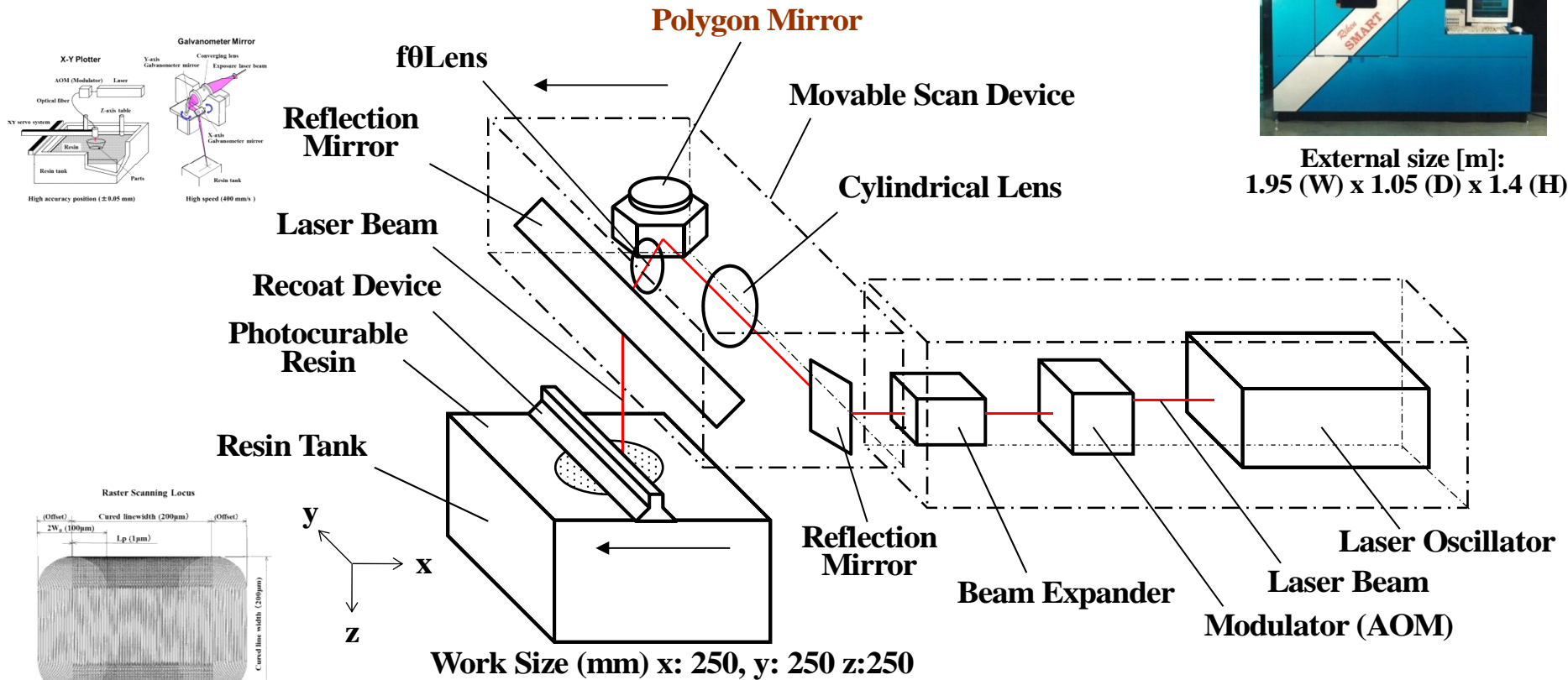
第6回 可視赤外線観測装置技術

14

Vat photopolymerization System — 高速高精度化



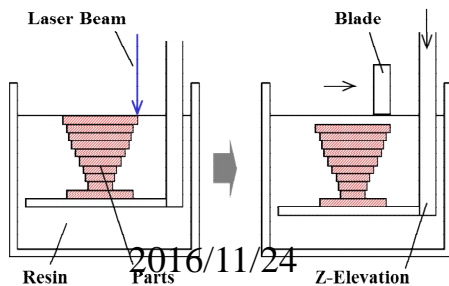
External size [m]:
1.95 (W) x 1.05 (D) x 1.4 (H)



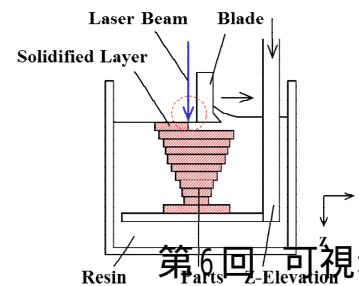
Laser Scanning

Recoating

Scanning and Recoating



Conventional Process



第6回 可視赤外線観測装置技術
ワークショップ

Specifications

Laser	Ar+ (351 nm, TEM ₀₀ , 440 mW)
Beam diameter	0.1 mm (On resin surface)
Beam scanning speed	69.1 m/sec, 138.2 m/sec
Raster scanning line pitch	0.33 µm ~ 20 µm
Recoating speed	0.06 mm/sec ~ 6.67 mm/sec



Vat photopolymerization — Properties

•Average exposure: E_{av} [mJ/cm^2]

$$E_{av} = PL / (Lp \cdot Vs \cdot 10)$$

PL : Laser output on liquid resin surface [mW]

V_s : Laser scanning speed [m/s]

L_p : Raster scanning line pitch [mm]

•Cure Depth: C_d [mm]

$$C_d = D_p \cdot \ln (E_{av} / E_c)$$

E_c : Critical exposure [mJ/cm^2]

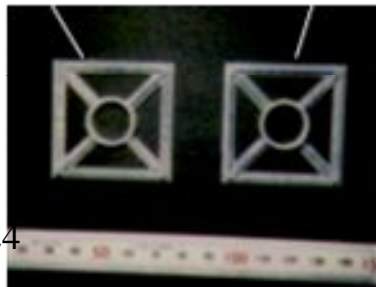
D_p : Penetration depth [mm]

Example for Laminating Condition

Device	Polygon	Galvano
Beam Scanning Speed [m/s]	138.2	0.4
Raster Scanning line pitch [μm]	0.83	100
Average exposure [mJ/cm^2]	56.4	57.5
Cure Depth [mm]	0.15	0.16

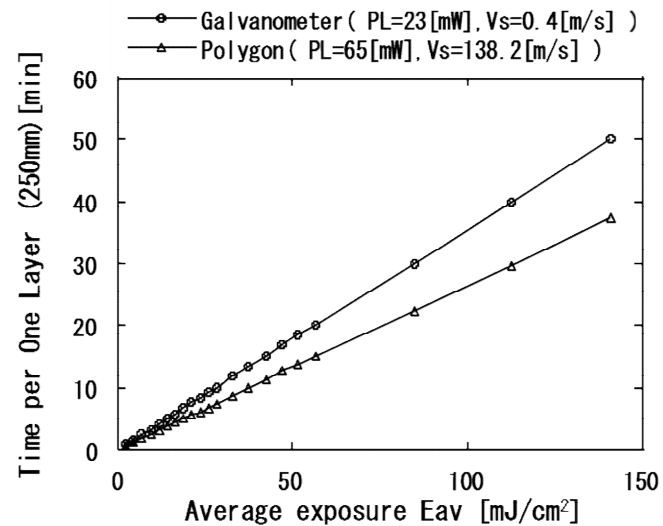
Benchmark Sample

Polygon Mirror Galvano Mirror

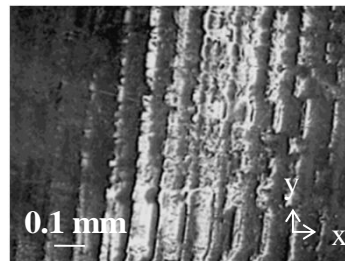


2016/11/24

第6回 可視赤外線観測装置技術
ワークショップ

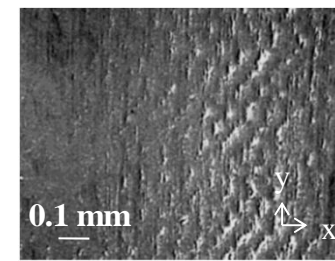


Galvanometer Mirror

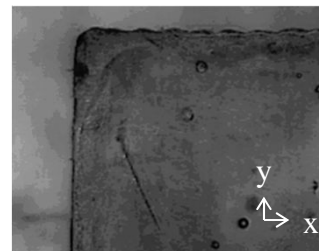


$L_p = 100\mu\text{m}$

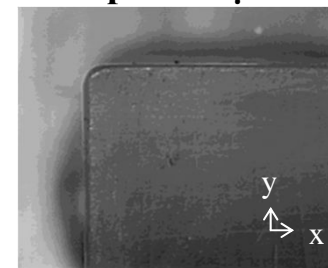
Polygon Mirror



$L_p = 0.83\mu\text{m}$



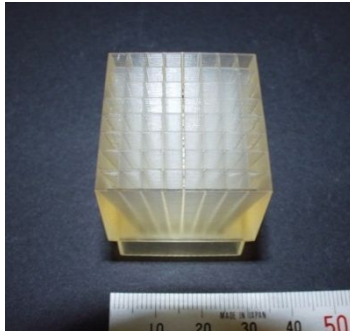
$L_p = 100\mu\text{m}$



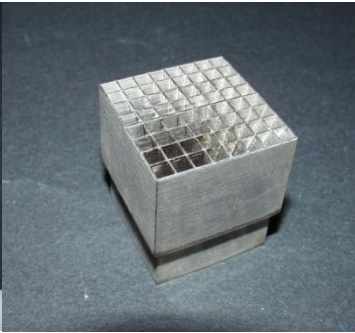
$L_p = 0.83\mu\text{m}$

16

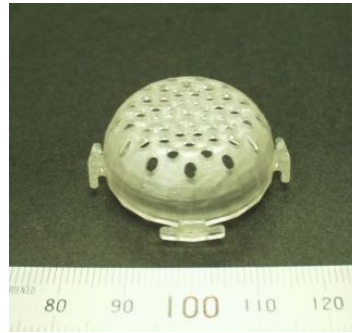
Vat photopolymerizationによる 複雑形状部品の創製



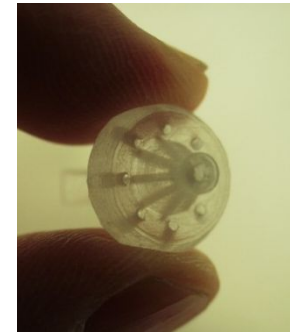
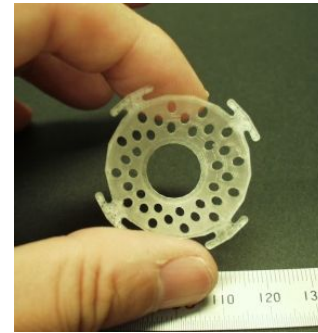
光学部品



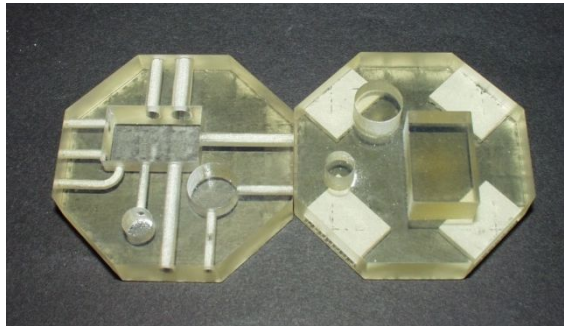
ニッケルメッキ後



脳科学研究用治具



三次元数学教材モデル



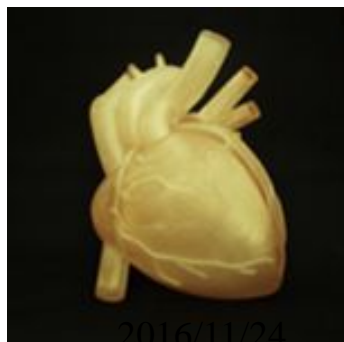
生化学研究用流路可視化モデル



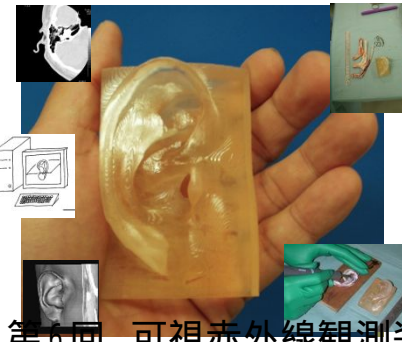
菱形300面体結晶



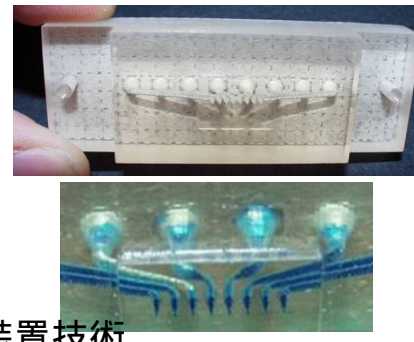
動脈瘤実体モデル



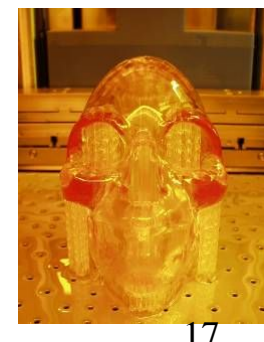
2016/11/24



第6回 可視赤外線観測装置技術
小耳症手術用テンプレート(4~2件/月)



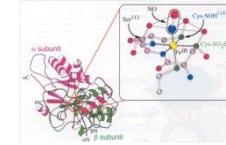
流路部品



17
生体モデル

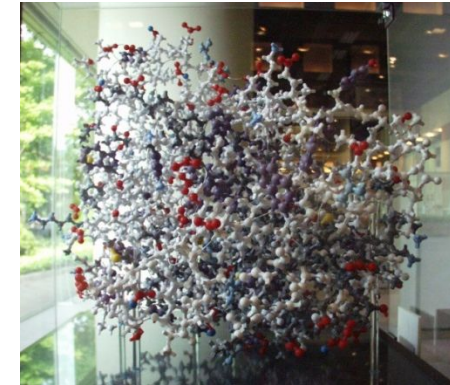
科学研究費補助金・基盤研究A
「視覚障害者の立体認識機構の研究および立体幾何学教材の開発」

Binder Jetting — 多色化と人工骨成形



立体構造

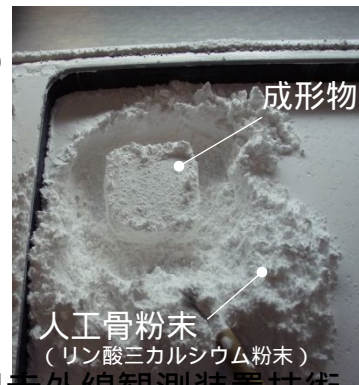
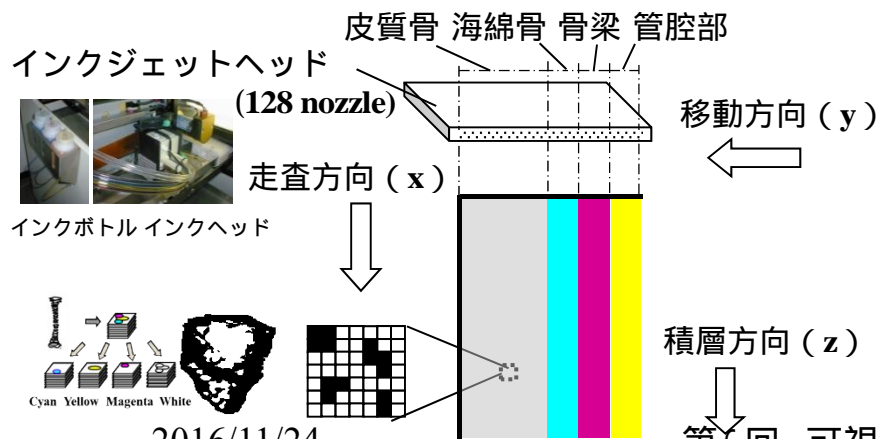
ニトリルヒドラーターゼ
(光と一酸化窒素でスイッチする酵素)



手のひらにのる分子模型 (原子数: 約2,000)

描画解像度 (x, y)	360 dpi
積層厚さ (z)	0.1 mm

従来の分子模型 (理研ギャラリー)



(x 100, y150 mm, 1440 x 2160 pixel, 1 dot = 70 μm)

Binder Jetting法の人工骨成形への応用

PDB データ
Protein Data Bank

- ・PDBデータより取得する情報
- ・X線回折や核磁気共鳴(NMR)などから決定した生体高分子の構造データは、おもに米国のRCSB(Research Collaboratory for Structural Bioinformatics)が管理運営するPDBファイルに登録されている。PDBの各ファイル内には物質名とそれを構成する原子の位置座標や結合に関するデータの他、作成者、実験条件、文献など様々な情報があり、それらの各項目は行単位で記述され、該当する情報がない場合は省略される。
- ・※ PDB (Protein Data Bank)
- ・X線回折やNMR(Nuclear Magnetic Resonance,核磁気共鳴)で解析した、タンパク質を主体とする生体高分子立体構造のデータベース。内容は原子座標などから成る構造情報。1971年に米国のBrookhaven National Laboratory に設置され、1999年にRCSB (Research Collaboratory for Structural Bioinformatics)へ移管された。

X線構造解析
核磁気共鳴

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



Binder Jettingによる人工骨の成形

技術開発

データ作成手順：

- (1) X線マイクロCT装置による断層画像の採取
- (2) 断面画像の再構築
- (3) 領域抽出 (輝度情報を対象に2値化处理)
- (4) ポリゴンデータ (STL) 出力
- (6) スライスデータ (ビットマップ) 出力

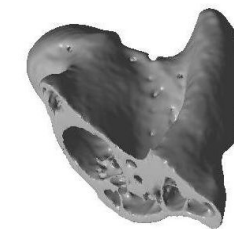
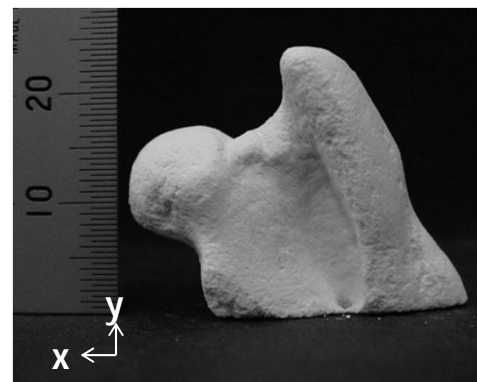
家兔大腿骨



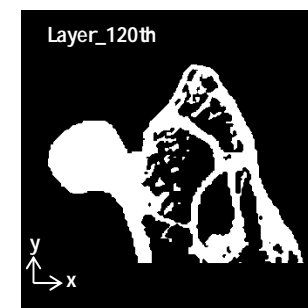
断面画像から骨のみを抽出



CTデータ



3次元データ (STL)



スライスデータ

供試粉末 (リン酸カルシウム骨ペースト)	成分 (Wt %)
α型リン酸三カルシウム Alpha-tribasic calcium phosphate: α-TCP	75
リン酸四カルシウム Tetrabasic calcium phosphate: TeCP	18
リン酸水素カルシウム Dicalcium phosphate dihydrate: DCPD	5
水酸化アパタイト Hydroxyapatite: HA	2

バインダー液 (ペースト練和用液)	成分 (Wt %)
コンドロイチン硫酸ナトリウム Sodium chondroitin sulfate	5
コハク酸二ナトリウム無水物 Dibasic sodium succinate anhydride	12
精製水 2016/11/24 purified water	

外形寸法測定 (x,y,z) [mm]	31.0 × 24.4 × 16.8
重量 [g]	3.21
第6回 ⁸³ 可視赤外線観測技術コンテスト	約44

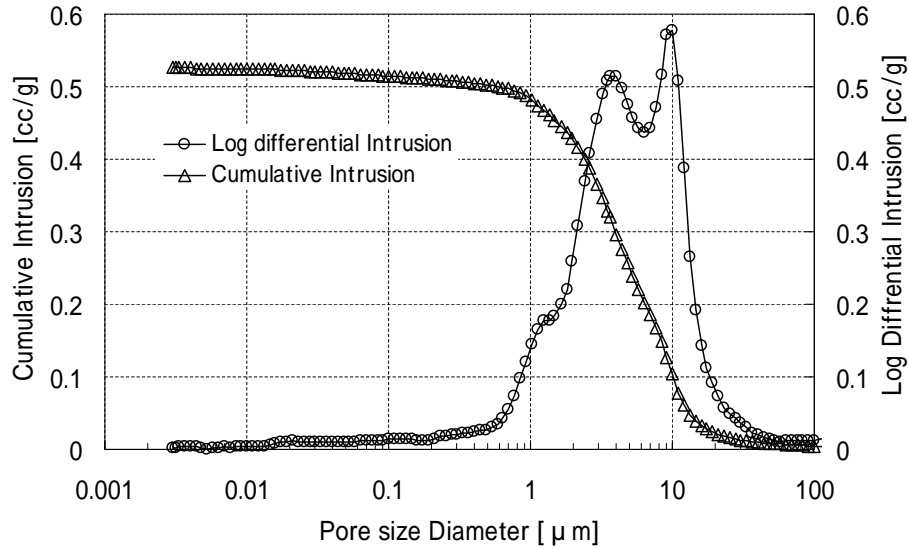
PS17: 粉末積層造形法による人工骨の成形 (山澤他)

ワークショップ (容積誤差 1%)

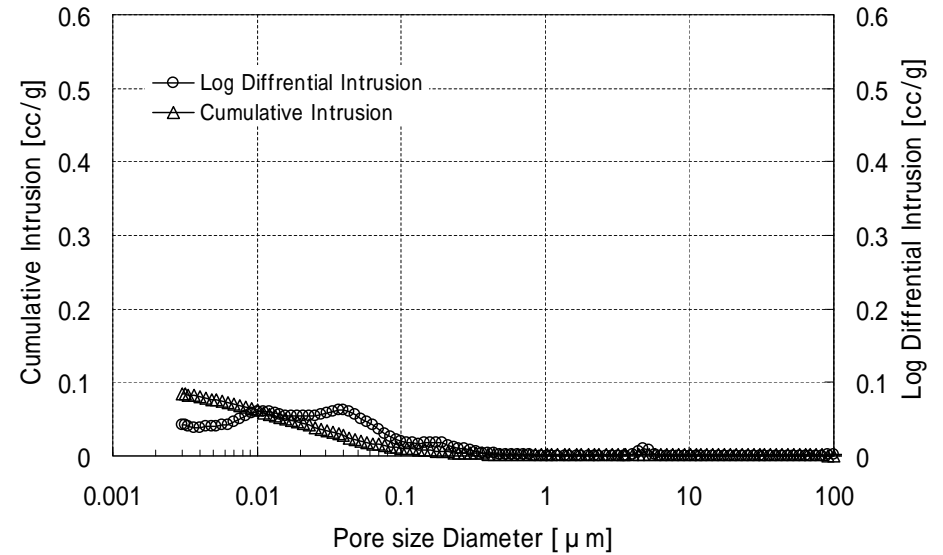


多孔性

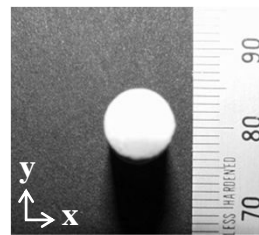
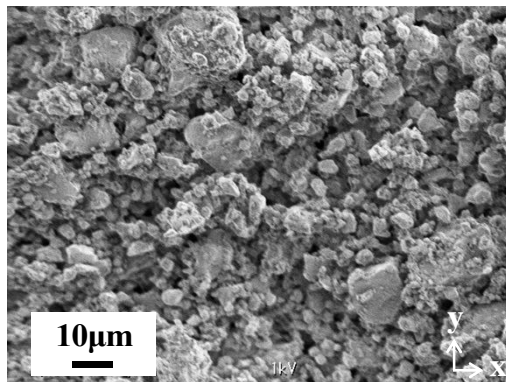
積層造形法 (sample_a)



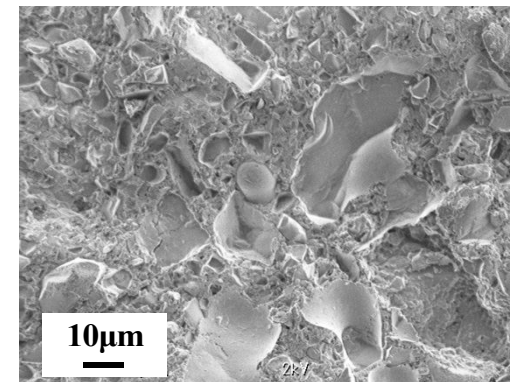
ペースト硬化物 (sample_d) (粉液比 3:1)



水銀圧入法による試料の気孔分布 (島津 オートポア 9520形)



直径 7 mm , 長さ 20 mm
円柱形状試料



気孔率 60 % , 気孔径 10 μm (3.6 μm)

かさ密度 1.1 g/cc , 細孔比表面積 0.49 m²/g

気孔率 18 % , 気孔径 0.04 μm

かさ密度 2.1g/cc , 細孔比表面積 0.001 m²/g

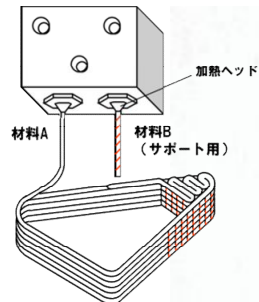
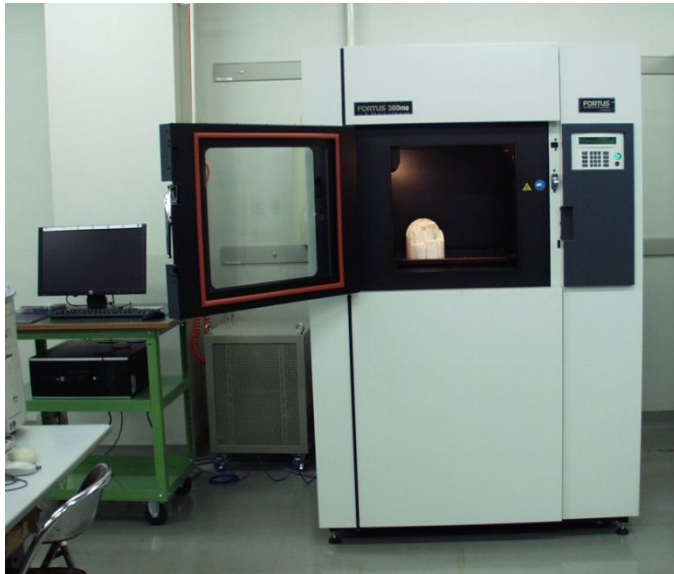
試料の観察像 (KEYENCE VE-7800)

第6回 可視赤外線観測装置技術
ワークショップ

(緻密体)



地域企業との連携・協力



溶融樹脂押し出し法の原理



2016/11/24

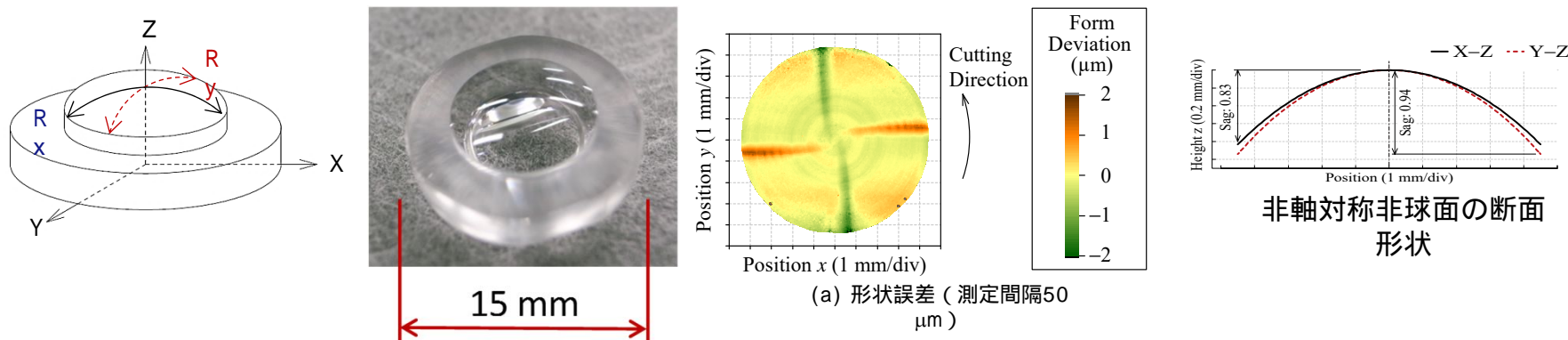
Material extrusion造形品



第6回 可視赤外線観測装置技術
ノズル交換作業 ワークショップ

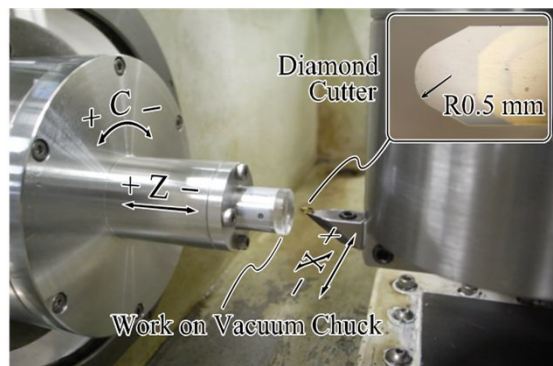
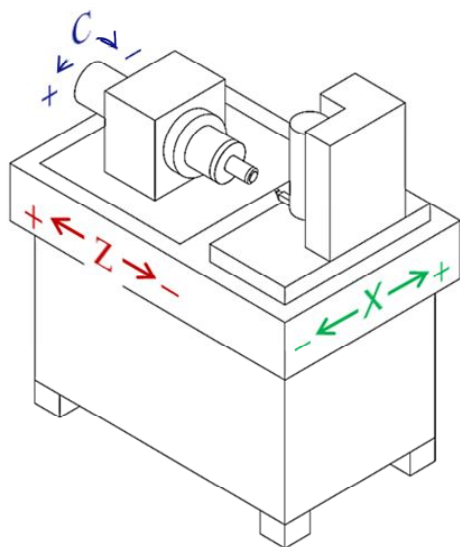
和光3Dプリンタ活用研究会 (2014)

Ultrahigh Precision Machining of non-axis-symmetric optics for Syringe microscope

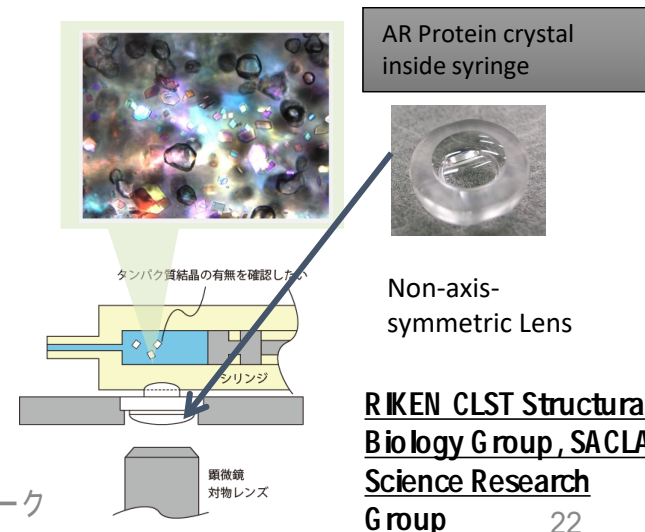


Manufactured non-axis symmetric compensating optics

Development of Syringe microscope for observation of micro protein crystal (SFX) for SACLA



Ultrahigh precision machining with XZC three axis simultaneous motion control



RIKEN CLST Structural Biology Group, SACLA Science Research Group

“ものづくり”による研究支援・技術開発

- 技術的コンサルティングの充実
- 即応性
- 技術・技能の伝承と技術者の意識の高さの維持
- 外注網の整備
- 科学技術者と工学（工業）技術者の連携
- 科学研究のニーズから生まれる技術開発

“ものづくり”で研究支援

研究室が広範な分野にわたって基礎および応用の研究を円滑かつ効率的に推進していくためには、これを支え、促進し得るような、様々な先端的な研究用実験装置の確保、あるいは装置改造等が必要不可欠です。当チームの主任務は、研究者からの要求に応じて、それらの装置を開発、製作することであり、装置構想、詳細設計、製作、納入、また既設装置の改良・改修等を一貫して行うことにあります。そのためには、エンジニアリング能力と技術・技能を磨き、業務のスピードアップ・レベルアップなどにたゆまない向上を進めています。

また、特に理研内にニーズの高い先端技術開発支援とともに、研究室・チーム・グループや技術室と密に連携して、関連技術開発や作業業務のIT化対応による効率的な開発支援環境整備も進めています。さらに所内外の施策への協力を意識し、エンジニア育成や技能継承、高度機器開発にかかる必要な環境の構築と提供および効果的運用を進めます。

支援・即応・開発

理研ならではの**高度な研究支援と技術開発に向かって**



技術基盤支援チームメンバー

ご静聴有難うございました。

謝辞

- 3Dプリンタ関連の研究開発は、山澤健二氏によるものです。
- Corrugated Hornの加工は、高橋一郎氏によるものです。
- 非軸対象非球面補正レンズ、BNA結晶の加工は、竹田正宏氏、細畠拓也氏らによるものです。