

核融合炉用炭素材料

Carbon material for nuclear fusion reactors

Atomic Energy Sec.
Production Division
Toyo Tanso Co., Ltd.

2022年12月22日
東洋炭素株式会社
生産本部 原子力室
室長 山地雅俊

東洋炭素株式会社

Contents

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. 東洋炭素株式会社の沿革 | History of Toyo Tanso Co., Ltd. |
| 2. 炭素とは | What is carbon? |
| 3. 用途 | Main applications |
| 4. 黒鉛の製造法 | Graphite manufacturing method |
| 5. 核融合炉向け実績 | Sales results for fusion reactors |
| 6. 特殊材料と開発材料 | Special material and developed material |
| 7. まとめ | <i>Summary</i> |

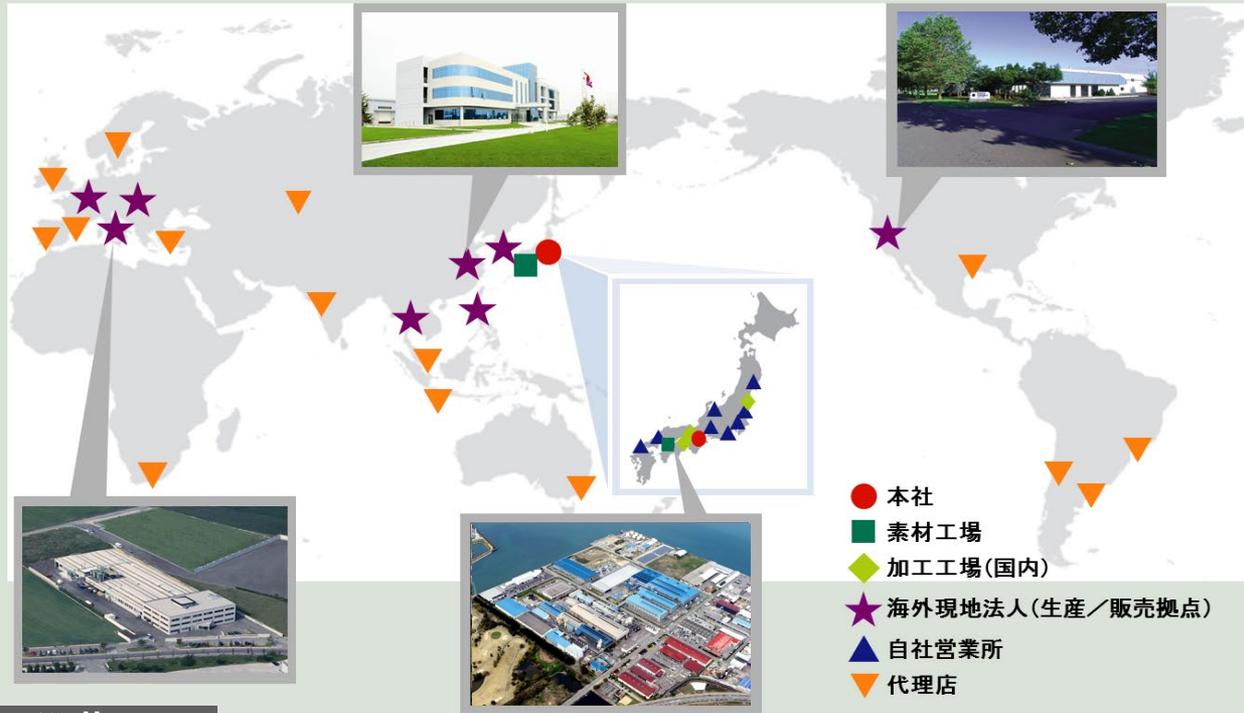
1. 東洋炭素株式会社の沿革

History of Toyo Tanso Co., Ltd.

1. 東洋炭素株式会社の沿革 History of Toyo Tanso Co., Ltd. TOYO TANSO Inspiration for Innovation

1.1 設立から現在まで From company establishment to the present

事業内容：高性能に特化した炭素製品メーカー



沿革

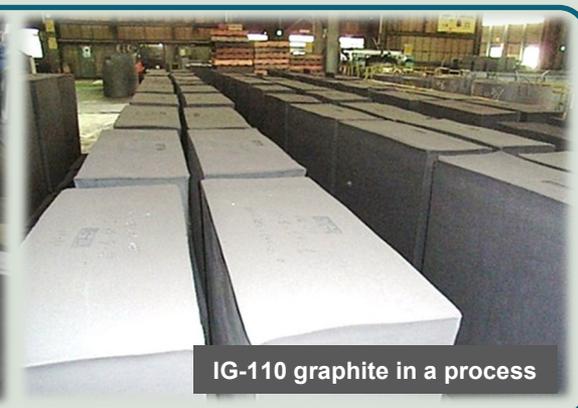
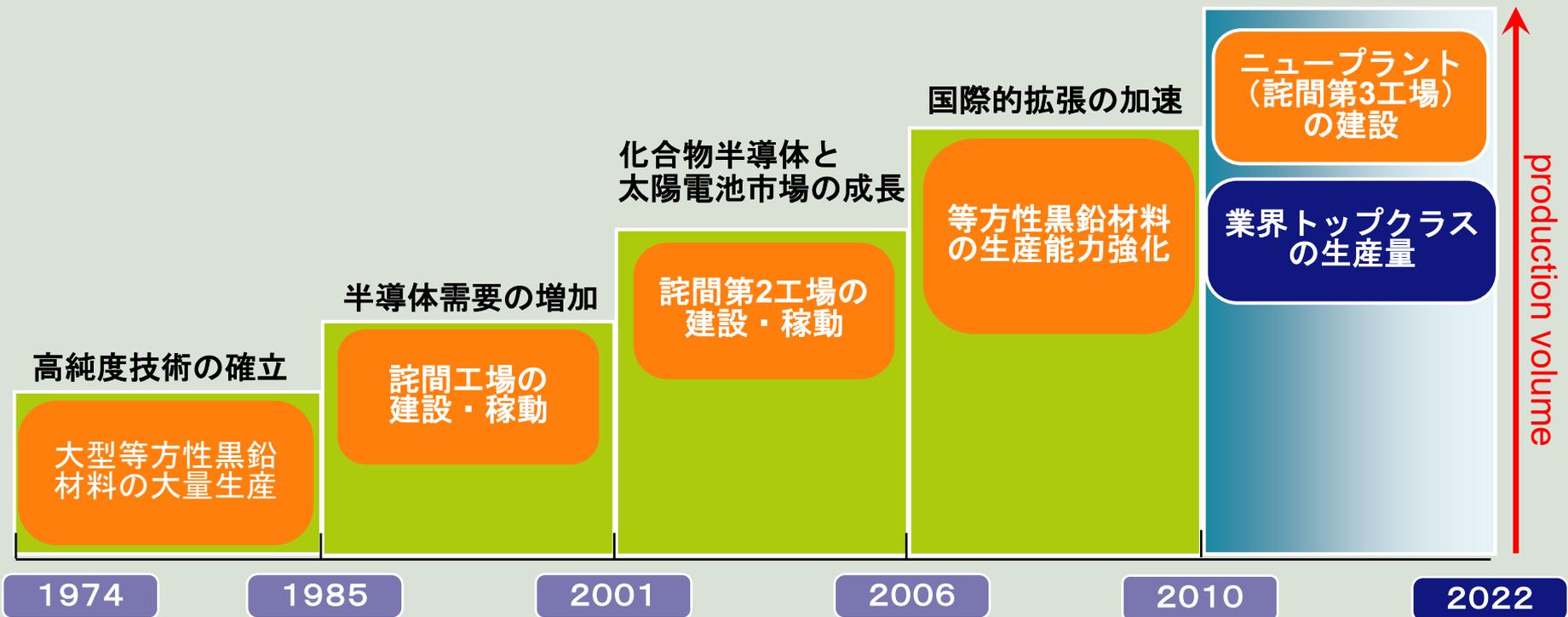
- | | | |
|------|----------------------------|-----|
| 1947 | 近藤カーボン工業設立/カーボンブラシの製造を開始 | 大阪市 |
| 1974 | 大型等方性高密度黒鉛の量産化工場を設置(大野原工場) | 香川県 |
| 1985 | 等方性高密度黒鉛の生産能力増強 (詫間工場) | 香川県 |
| 1987 | 米国法人TTA, Inc 設立 (現 TTU) | |
| 1994 | 中国上海に 上海東洋炭素有限公司設立 | |
| 2006 | 東京証券取引所市場第一部に株式を上場 | |

1. 東洋炭素株式会社の沿革

History of Toyo Tanso Co., Ltd.

1.2 製造の視点から

History of expansion



2. 炭素とは

What is carbon?

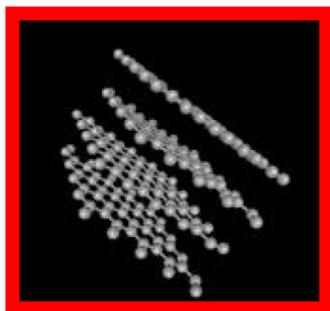
2. 炭素とは

What is carbon?

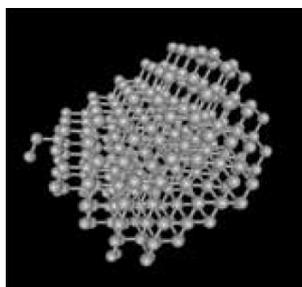
2.1 炭素って何？

- 元素記号“C”、原子番号“6”、原子量“12.011”の物質。
- 混成軌道の様式により、さまざまな結晶をつくる特徴がある。
- 炭素の同素体には、黒鉛、ダイヤモンド、フラーレン、カルビンなどがあり、これら同素体を総称して炭素材料と呼ぶ。

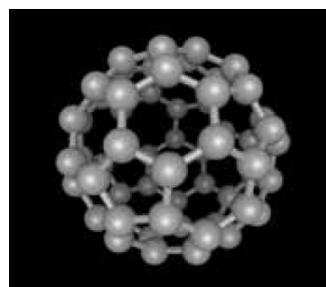
黒鉛	: sp^2 結合	平面的に結合したシートからなる。
ダイヤモンド	: sp^3 結合	三次元構造の正四面体型に結合し、強固な結合を持つ。
フラーレン	: sp^2 結合	六員環と五員環で構成された球殻状分子を持つ。
カルビン	: sp^1 結合	一次元状に結合した構造を持つ。



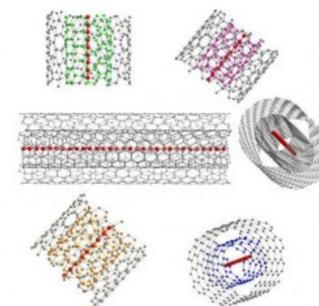
黒鉛(グラファイト)
Graphite



ダイヤモンド
Diamond



フラーレン
Fullerene
1996年ノーベル賞



カルビン
carbyne

- 原料及び製造方法を組合せることで、多種多様な特性の材料設計が可能となる。

2. 炭素とは

2.2 黒鉛の特徴

What is carbon?
Features of graphite

黒鉛の特徴



Self-lubricating

1 自己潤滑性がある



Chemical resistance

3 耐薬品性がある



easy to machine

5 加工性がよい

Good thermal conductivity



鉄より熱を伝え易い

2 電気伝導性・熱伝導性が良い

Good heat resistance



3550°Cで昇華

4 耐熱性がある



Lightweight

ガラスより小さなかさ密度

6 軽量である

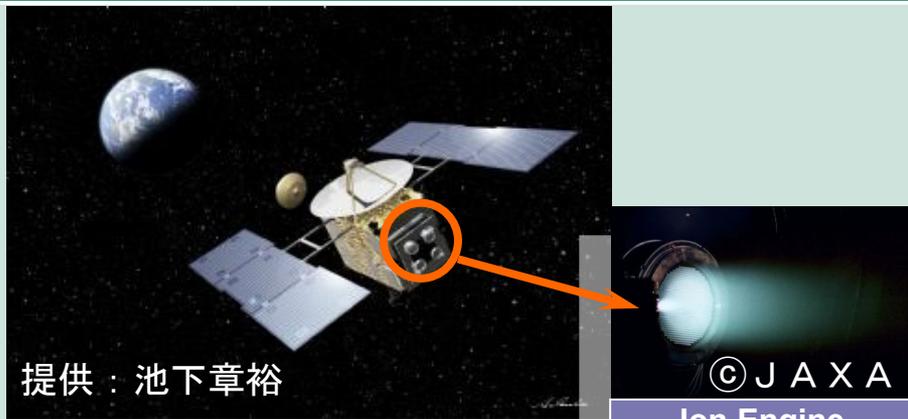
3. 用途

Main applications

3. 用途

Applications

先端技術領域 Advanced technology



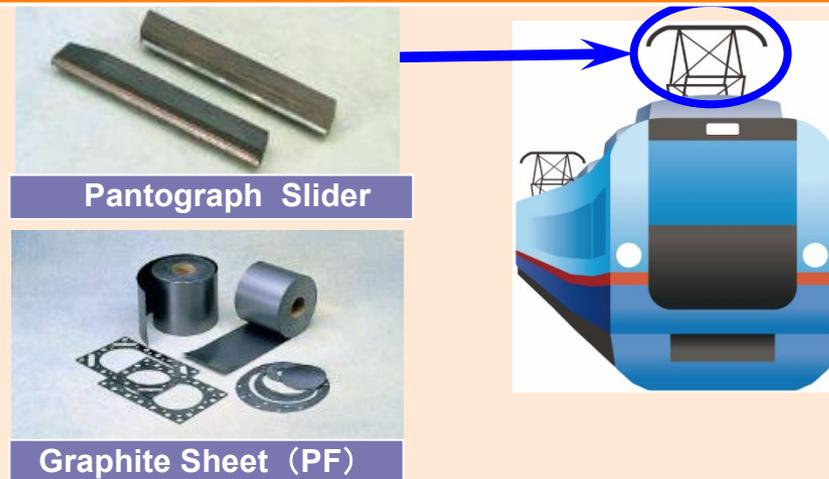
提供：池下章裕

© JAXA

Ion Engine

探査機 “はやぶさ”

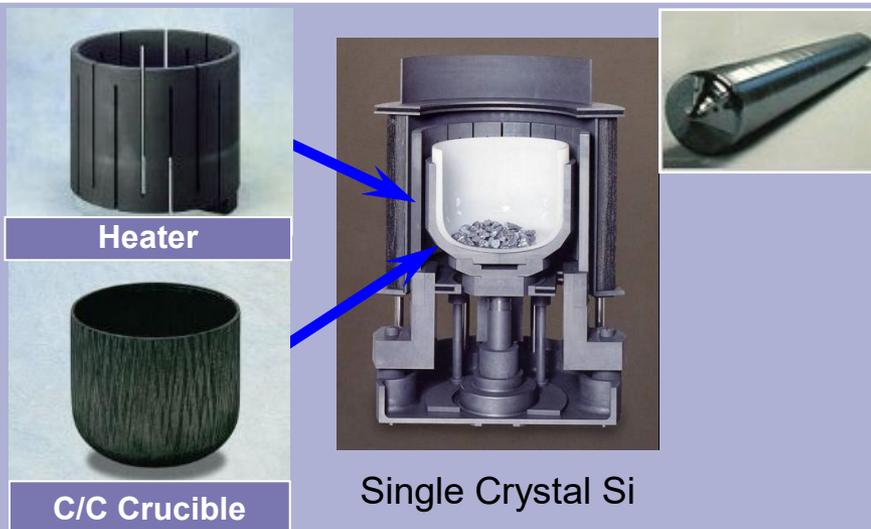
輸送機器領域 Transportation



Pantograph Slider

Graphite Sheet (PF)

エレクトロニクス領域 Electronics

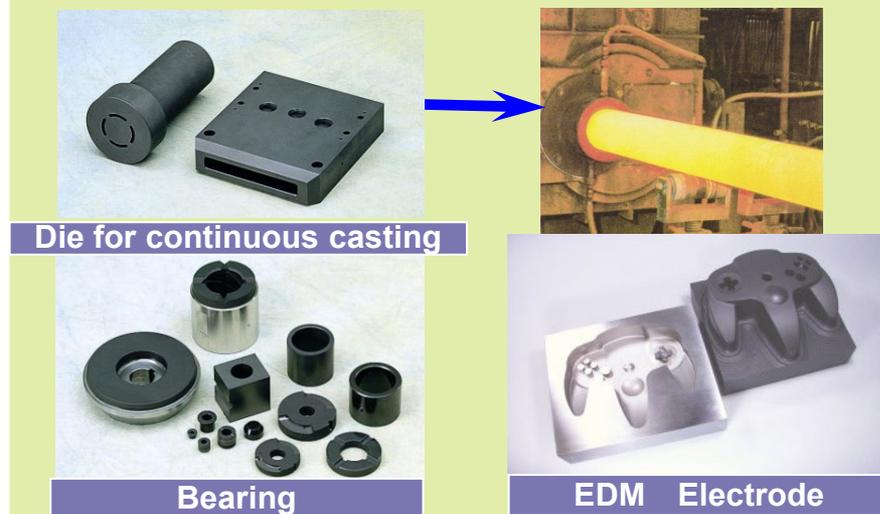


Heater

C/C Crucible

Single Crystal Si

一般産業機械領域 Industrial Machinery



Die for continuous casting

Bearing

EDM Electrode

3. 用途

Applications

3.1 原子力エネルギー用途 Nuclear power

核融合炉 Fusion Reactor

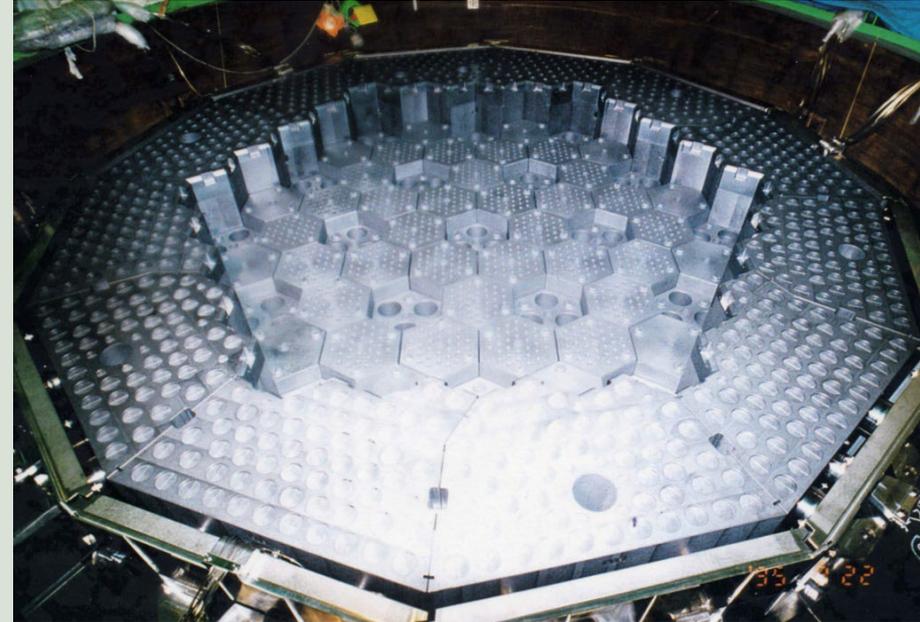


First wall tile/
Divertor tile



写真提供: 量子科学技術研究開発機構 

高温ガス炉 HTGR



Cores/
Moderator



写真提供: 日本原子力研究開発機構

4. 核融合炉用炭素材料の特徴 および 製造方法 (等方性黒鉛、C/C材)

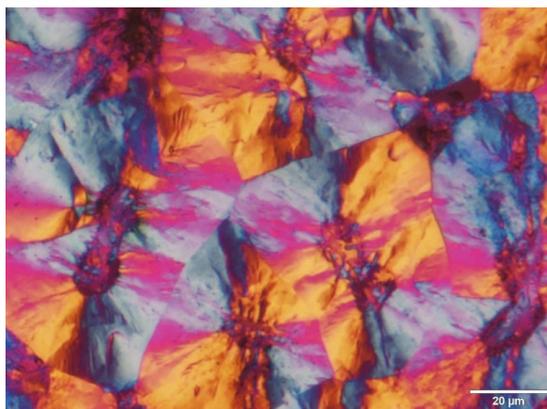
Features and production method for fusion reactor
(Graphite and C/C)

4. 核融合炉用材料の特徴および製造方法

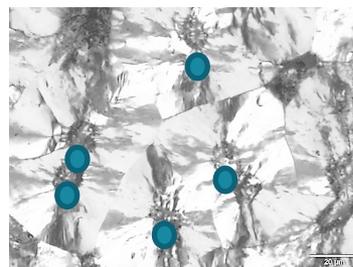
4.1 特徴(高熱伝導C/C材、高強度黒鉛材) Features of carbon material

C/C材 CX-2002Uの特徴 Characteristics of CFC material

- 高熱伝導率 High thermal conductivity
- 耐熱衝撃性に優れている。 High thermal shock resistance
- 高純度である。 High purity
- 異方性を有する。 Anisotropic

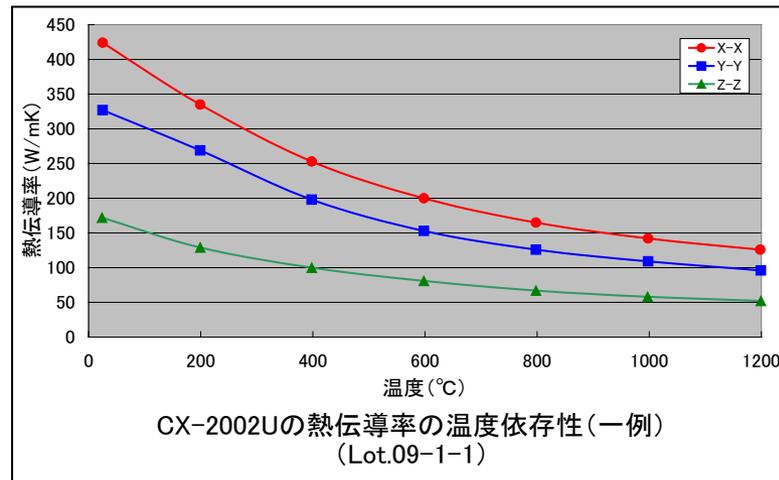


CX-2002U Polarizing micrograph



● : 炭素繊維(断面) Carbon fiber

偏光部: 熱分解炭素



等方性黒鉛材 IG-430Uの特徴

Characteristics of CFC material

- 耐熱衝撃性に優れている。 High thermal shock resistance
- 高強度である。 High strength
- 高純度である。 High purity

グレード	かさ密度 [Mg/m ³]	硬さ [HSD]	電気抵抗率 [$\mu\Omega\cdot\text{m}$]	曲げ強さ [MPa]	圧縮強さ [MPa]	ヤング率 [GPa]	線膨張率 [$\times 10^{-6}/\text{K}$] RT~450°C	熱伝導率 [W/(m·K)] 室温
IG-110	1.77	51	11.0	39	78	9.8	3.9	120
IG-430	1.82	55	9.2	54	90	10.8	4.8 (350~450°C)	140
PGX (米国製)	1.74	—	10.0(L) 13.3(T)	11.8(L) 10.0(T)	30.0(L) 31.0(T)	6.6(L) 8.2(T)	2.6(L) 2.2(T)	92.9(L) 108(T)

4. 核融合炉用材料の特徴および製造方法

4.2 核融合向けC/Cの製造プロセス Manufacturing process of C/C composite



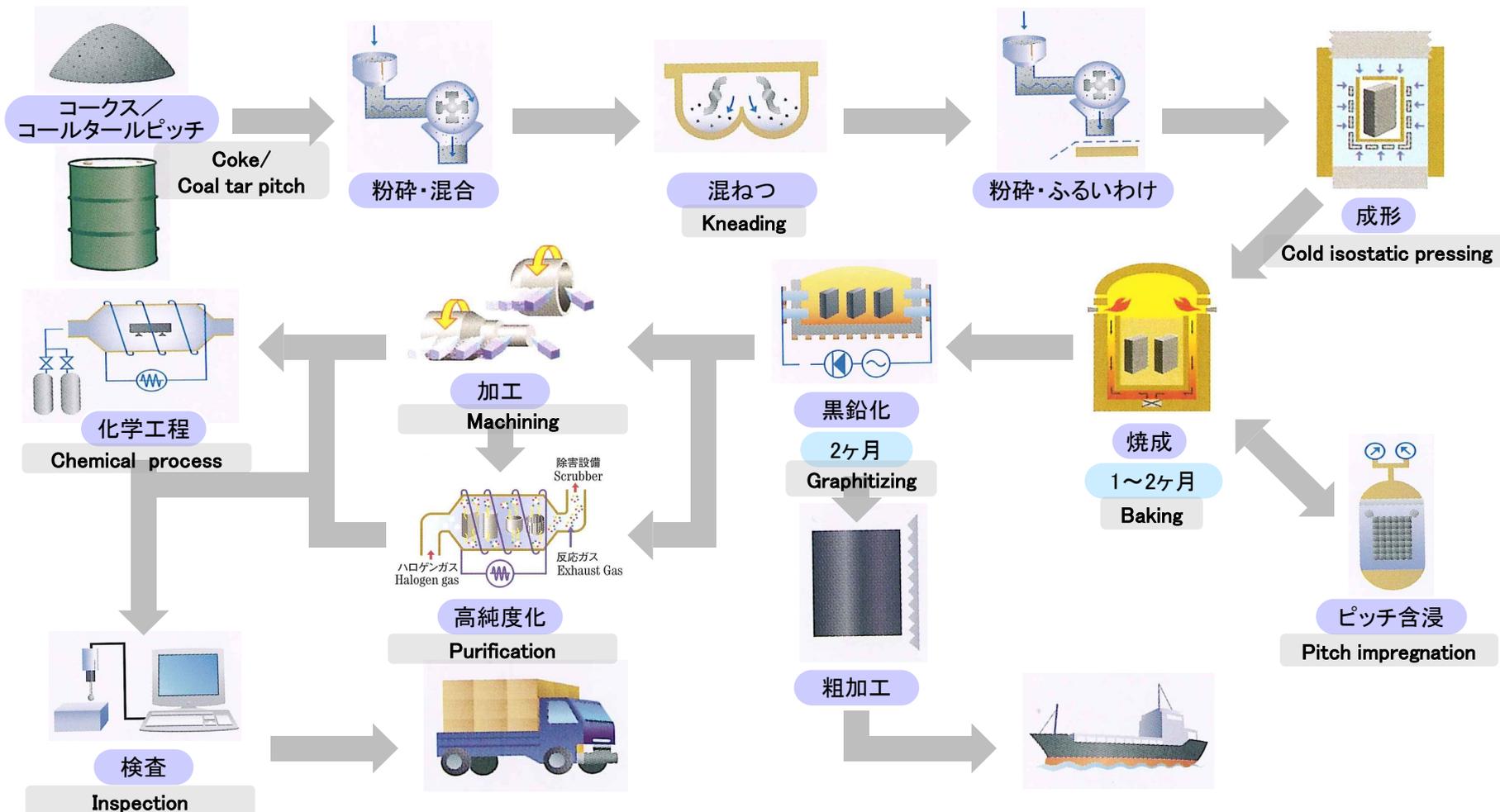
4. 核融合炉用材料の特徴および製造方法

4.3 等方性黒鉛の製造プロセス Manufacturing process of carbon material

等方性黒鉛の製造プロセス

全生産期間はおよそ6ヶ月

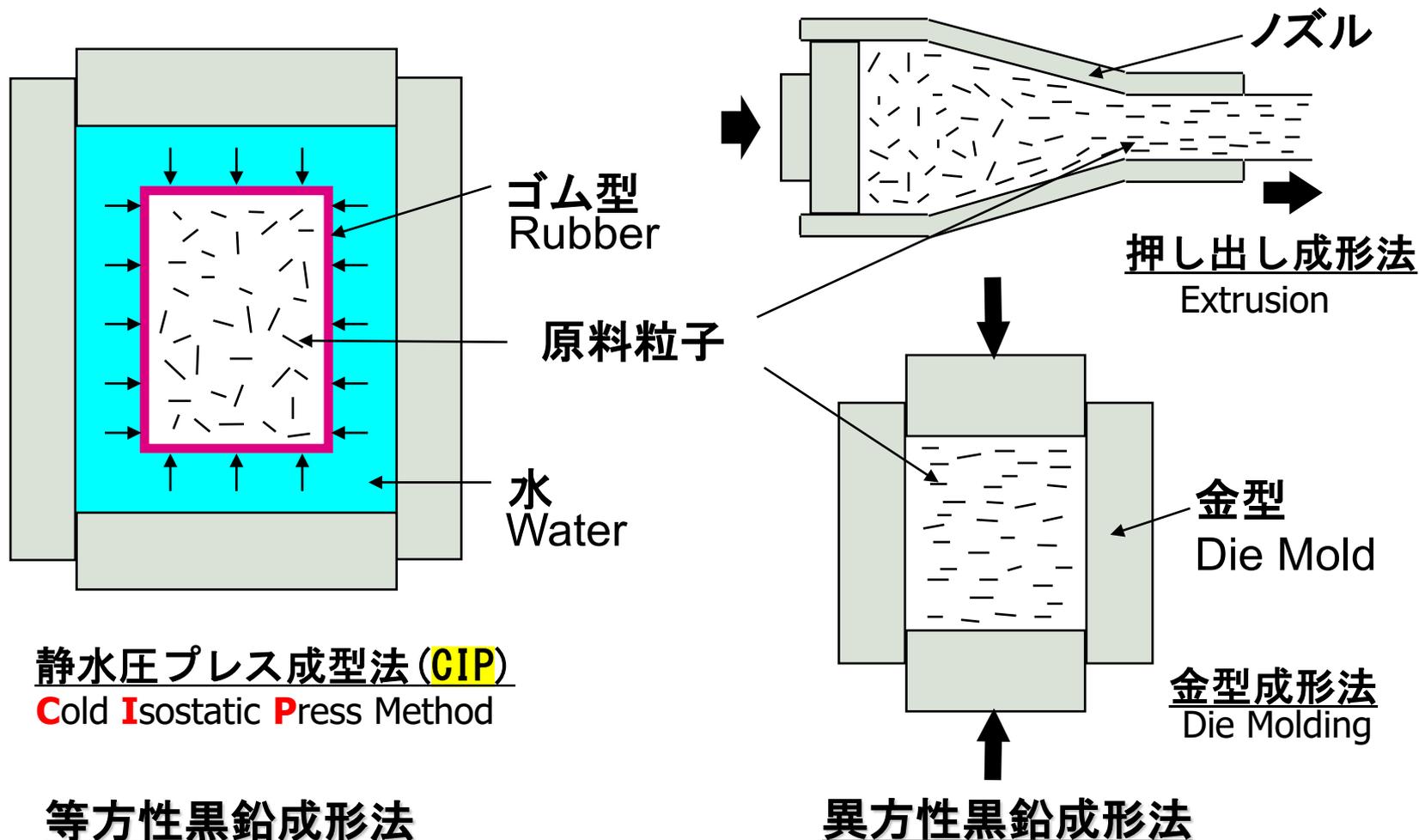
Production time is about 6 months



4. 核融合炉用材料の特徴および製造方法

4.3.1 黒鉛の成形方法 Molding method

- 等方性高密度黒鉛は、静水圧プレス成型法を採用しており、六角層面をランダムに並べられるため、どの方向でも物理的性質が変わらないという性質を持っている。

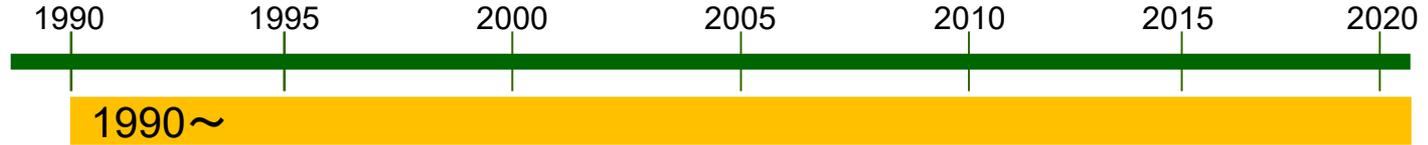


5. 核融合炉向け実績

Sales results for fusion reactors

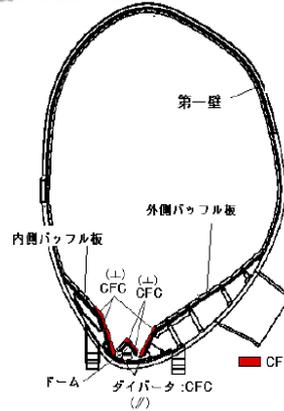
5. 核融合炉向け実績 日本国内実績

Sales results for fusion reactors



1990~

JAPAN: JT-60, JT-60SA (JAEA QST Tokamak)



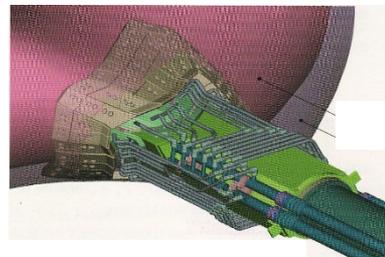
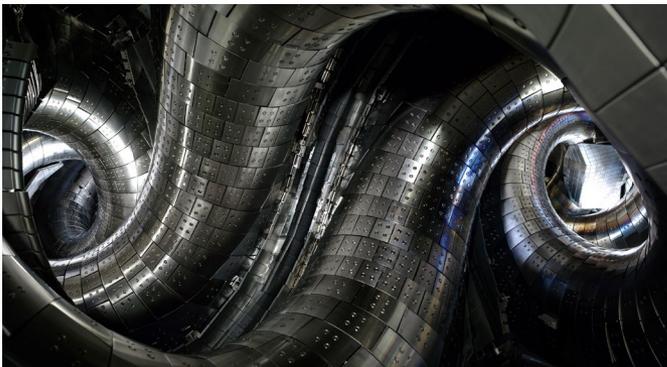
- First wall tile
- Divertor tile
- Armor tile
- Dome tile
- Baffle tile

材質: CX-2002U (C/C)
IG-430U (等方性黒鉛)

写真提供: 量子科学技術研究開発機構 QST

JAPAN: LHD (NIFS Helical)

1999~



Local Island Divertor

- Armor tile
- Local island divertor tile
- Side protector tile
- Divertor tile

材質: CX-2002U, TCC-123U (C/C)
IG-430U (等方性黒鉛)

写真提供: 核融合科学研究所



R&D

6. 特殊材料 と 開発材料

Special material and developed material

6. 特殊材料 と 開発材料 Special material

6.1 特殊材料(Prototypes UD-C/C CX-1001U)

項目	方向	単位	測定値
かさ密度	-	Mg/m ³	1.96
熱伝導率	⊥	W/(m·K)	31
	//		654



376mm × 142mm



Enlarged photo

STRIKE SPIDER
(Consorzio-RFX (ITA))に採用

Additional Opportunities

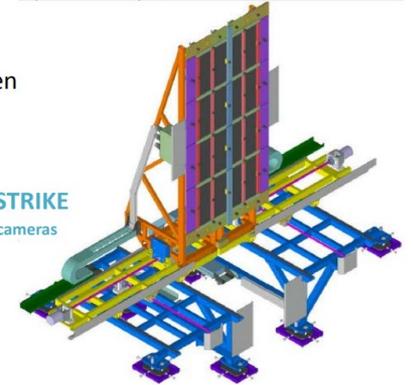


Consorzio-RFX performs under contract with F4E:

- Control, Interlocks and Data Acquisition system
- Diagnostics
- Assembly

Some subcontracting is foreseen

Example of diagnostic
The short pulses calorimeter STRIKE
CFC tiles monitored on the back by infrared cameras



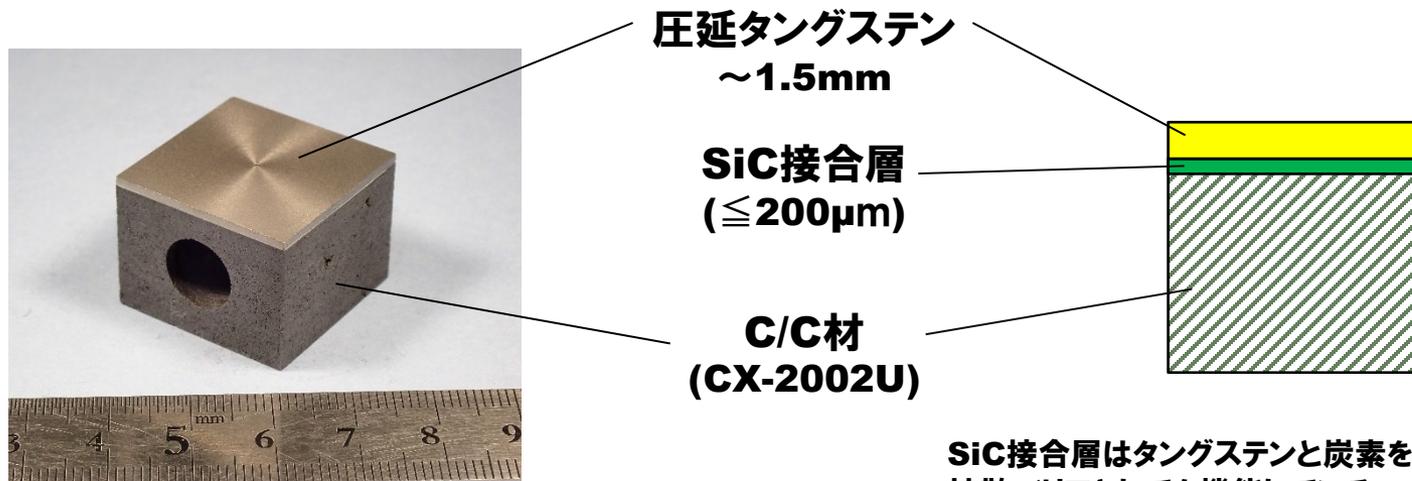
<https://www.igi.cnr.it/en/news/strike-and-its-tiles/>



6. 特殊材料 と 開発材料 Developed material

6.2 開発材料 W/C/C joining material (Developed material)

ダイバータ板材料として、タングステンの優れた耐水素特性と、C/C材の軽量性、高熱伝導性を備えた接合材料を開発した。



SiC接合層はタングステンと炭素を接合するとともに、拡散バリアとしても機能している。

	圧延タングステン	圧延タングステン/C/C	溶射タングステン/C/C
タングステン厚さ	☆☆☆	☆☆ $\leq 5 \text{ mm}$	☆ $\leq 1 \text{ mm}$
重量	☆	☆☆☆	☆☆☆
熱伝導性	☆☆	☆☆☆	☆
重水素リテンション量	☆☆☆	☆☆☆	☆

7. まとめ

Summary

- ▶ 当社の等方性黒鉛およびC/Cは、その優れた特性から核融合炉炉壁材料として、継続使用頂いている。
- ▶ 炭素材料が持つ問題点を改善するため、C/C材をベースとした新たな材料開発を行っている。

当社に関する詳細は、当社ホームページをご覧ください。
<http://www.toyotanso.co.jp/>



ご静聴ありがとうございました。

東洋炭素グループは、C(カーボン)の可能性を追求し世界に貢献する。