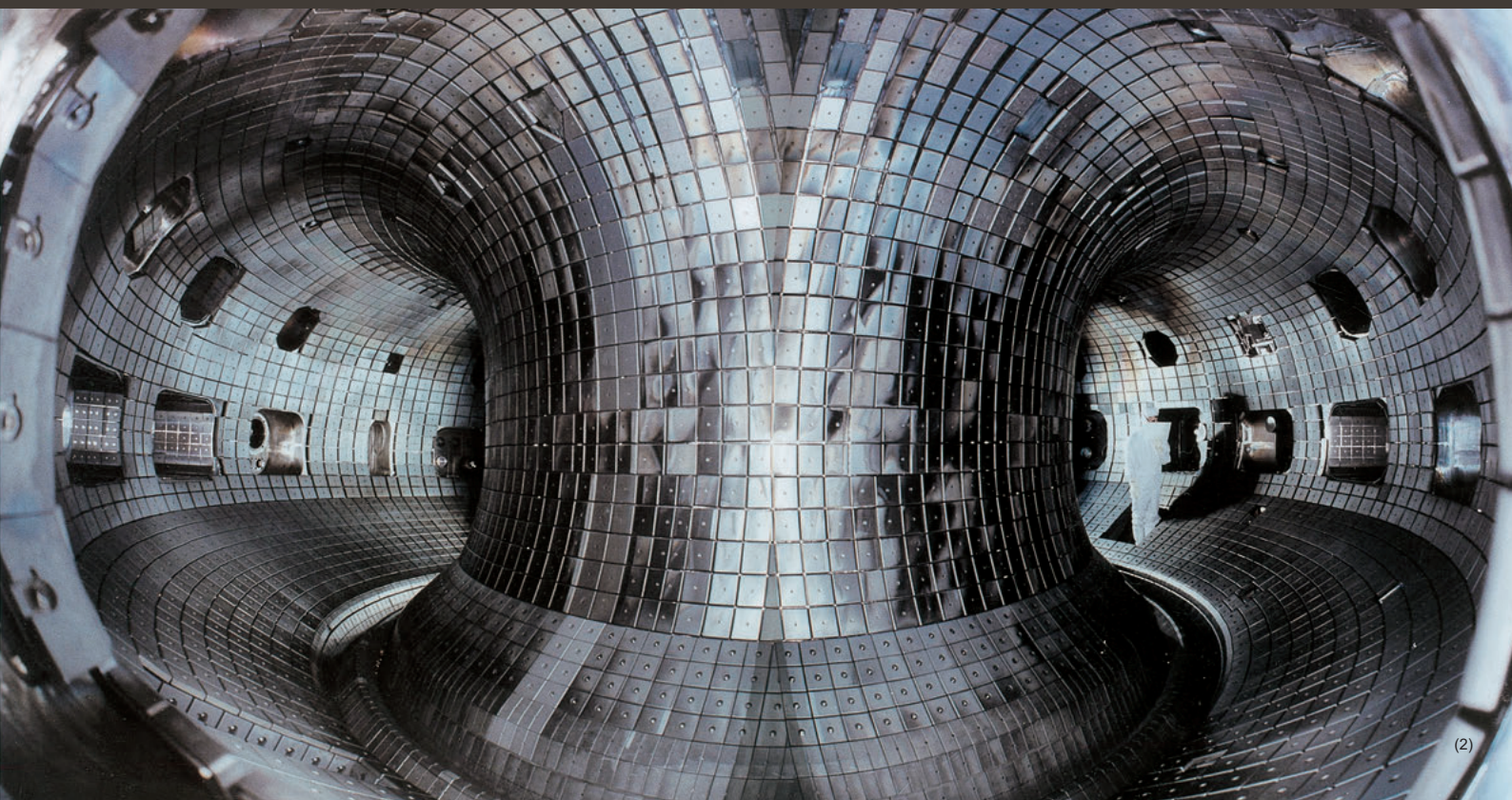
# 特種石墨

(1) 單晶矽製造設備

(2) 臨界電漿測試設備 (JT-60)
* 照片由國立研究開發法人量子科學技術研究開發機構提供

(1)



(2)

# 特種石墨產品特性

近年來，業界對於碳材料硬度和穩定性的要求越來越高。為此，東洋炭素一直走在業界中開發「等方性石墨」的最尖端。這是一種帶有細微顆粒的石墨材料，透過冷均壓成型 (CIP) 工藝形成等方性結構和材料性質。我們生產的等方性石墨產品用途廣泛，各行各業均可使用。其中包括：新技術快速發展的半導體業界、注重環保的可再生能源業界、不遺餘力追求精密度的模具業界，以及要求高度可靠性的原子能業界。我們卓越的表現受到客戶的廣泛認可，並與客戶共同成長。我們公司的獨家高提純技術和多種塗層技術可以產生良好的協同效應，保證我們能夠始終作為行業先鋒，繼續發掘碳材料的無限潛力。

## ■等方性石墨

傳統石墨為異向性，在許多用途中受到諸多限制。然而，橫截面方向相同的等方性石墨在材料性能方面並無差異，是一種便於設計和使用的材料。

## ■可靠性高

由於等方性石墨的細微顆粒結構，因此較傳統石墨更加堅固耐用。因此，這是一種特性差異較小的高可靠性材料。

## ■超強耐熱性

在惰性氣體環境，甚至在 2,000 ℃ 或以上的超高溫環境中，等方性石墨也可保證使用穩定。此材料熱膨脹率低、熱導率高，在耐熱衝擊性和熱分佈性能方面表現優異，熱變形率也很低。此外，該材料還有一個特性：在 2,500℃ 以下的環境溫度下，材料強度會隨溫度的上升而增加。

## ■卓越的導電性

由於石墨具有卓越的高耐熱性，因此是用於高溫加熱器等應用情況的最佳材料。

## ■出色的耐化學性

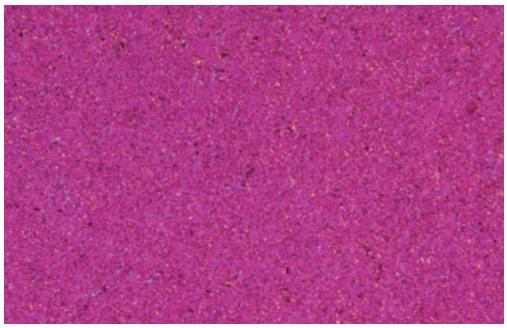
除了某些特定的強氧化劑，石墨的耐化學性十分穩定。甚至在可以對某些金屬產生腐蝕的環境中，石墨都可以正常使用。

## ■輕量且便於加工

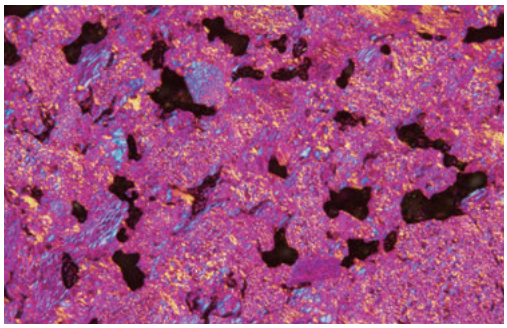
這種材料的體積密度和可以用於輕量設計的金屬材料一樣低。此外，該材料具有極佳的機械加工性，因此方便用於精密的成型工藝。

### ■等方性石墨和異方性石墨

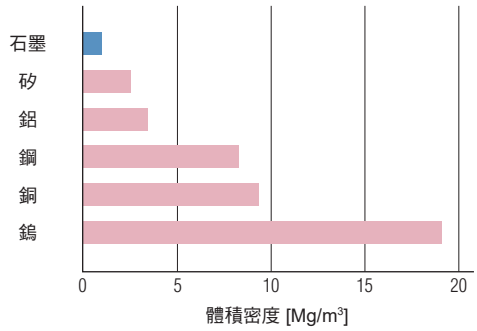
等方性高密度石墨　100 μm



異方性石墨　100 μm



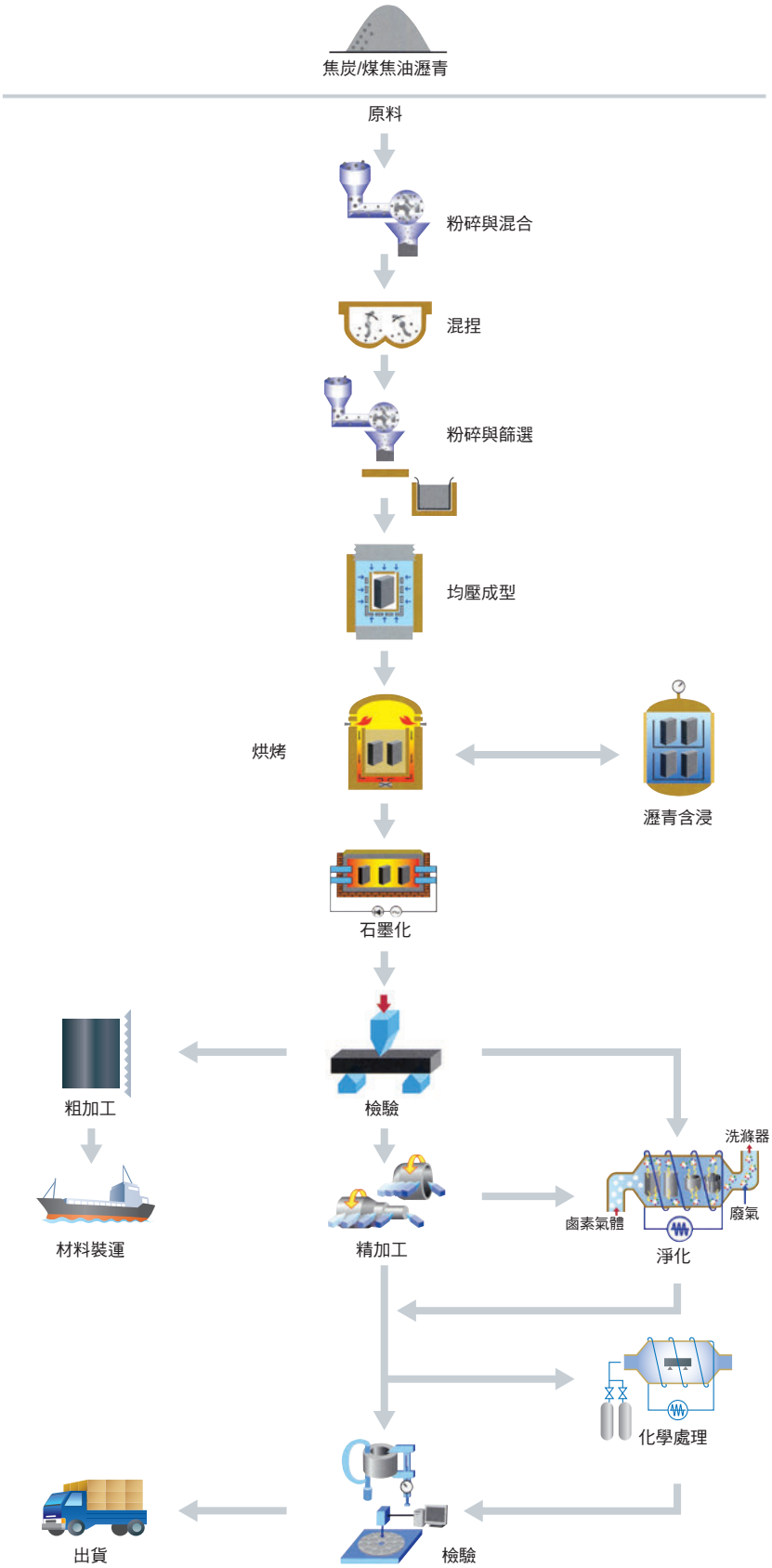
等方性高密度石墨不同於傳統石墨，不僅具有等方性，而且顆粒結構細微，能夠成為可靠性很高的堅固材料，彼此間的差異也很小。使用這種等方性石墨材料，各種和傳統異方性石墨有關的問題便可迎刃而解。






未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

# 製程




未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

# 用途

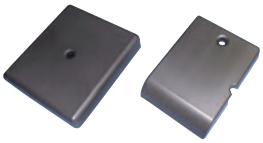
東洋炭素生產的特種石墨產品因其卓越的性能和可靠性備受推崇，廣泛應用於與人們日常生活息息相關的各種領域。在環保和能源業界中，我們的產品可用於太陽能電池製造、原子能和航太用途。在電子業中，我們為多晶矽和單晶矽、白光 LED 和高頻率裝置等各種製程供應材料。產品的基本用途包括工業爐組件、銅合金等的連續鑄造用模具，光纖，以及模具製造時的 EDM 電極。

## ■環境和能源

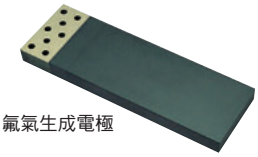
- ●太陽能電池和晶片製造
- ●原子能：高溫氣冷反應堆、核聚變
- ●電解氟
- ●燃料電池
- ●航空航太

側加熱器

高溫氣冷反應堆核心組件
* 照片由日本原子能機構提供



核聚變反應堆
等離子體第一壁
* 照片由國立研究開發法人量子科學技術研究開發機構提供



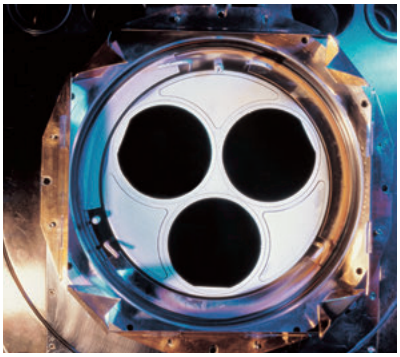
氟氣生成電極

## ■電子

- ●矽半導體製造用途
  - 多晶矽製造
  - 單晶矽製造設備
  - 外延生長感受器
  - 等離子 CVD 電極
  - 離子注入
  - 密封冶具

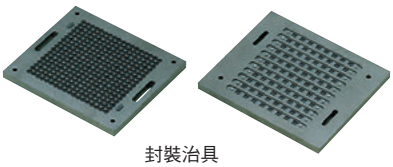
單晶矽
製造設備

坩堝



導流筒

加熱器



封裝冶具



未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

## ■電子

●化合物半導體製造用途
晶體製造設備部件
MOCVD 承戴盤

●LCD 面板製造用途
加熱器面板
等離子刻蝕電極

●硬碟製造用途
濺射靶材

MOCVD 承戴盤

石墨熱板

## ■冶金

●連續鑄造
石墨鑄模板狀
石墨鑄模柱狀

●熱壓機
模具
衝壓機
套筒
墊片

●工業爐
加熱器
料盤

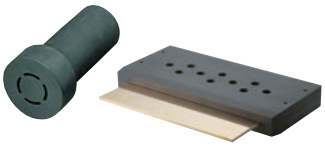
●真空蒸發坩堝

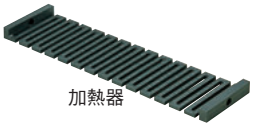
●氣體分析坩堝

●光纖製造用途
加熱器
馬弗爐管

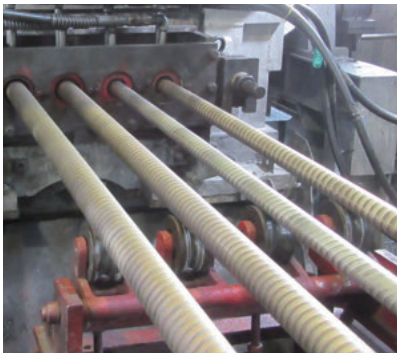
●EDM 電極

熱壓模具
（切割模型）


連續鑄造模具


加熱器

熔化金屬的坩堝



EDM 電極

未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

# 性能資料

## ■典型性能

| 等級 | 體積密度 | 硬度 | 電阻率 | 彎曲強度 | 壓縮強度 | 抗張強度 | 楊氏係數 | 熱膨脹係數 | 熱導率 | 標準尺寸 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mg/m³ | HSD | μΩ·m | MPa | MPa | MPa | GPa | $10^{-6}$/K | W/(m·K) | (mm) |
| IG-11 | 1.77 | 51 | 11.0 | 39 | 78 | 25 | 9.8 | 4.5 | 120 | 305 x 620 x 1000 ø585 x 1050 |
| IG-12 | 1.78 | 55 | 12.5 | 39 | 88 | 28 | 10.8 | 4.7 | 100 | 305 x 620 x 1000 ø585 x 1050 |
| IG-15 | 1.90 | 60 | 9.5 | 54 | 103 | 29 | 11.8 | 4.8 | 140 | 230 x 620 x 1000 |
| IG-43 | 1.82 | 55 | 9.2 | 54 | 90 | 37 | 10.8 | 4.8 | 140 | 300 x 540 x 850 |
| IG-45 | 1.88 | 55 | 9.0 | 60 | 110 | 40 | 12.0 | 4.9 | 140 | 300 x 540 x 850 |
| IG-56 | 1.77 | 57 | 12.2 | 43 | 88 | 27 | 10.3 | 4.7 | 100 | 450 x 1050 x 1050 ø860 x 700 |
| IG-70 | 1.83 | 58 | 10.0 | 47 | 103 | 31 | 11.8 | 4.6 | 130 | 305 x 620 x 1000 ø460 x 1050 |
| IG-82 | 1.82 | 64 | 15.3 | 53 | 113 | 40 | 10.9 | 5.1 | 85 | ø790 x 790 230 x 540 x 1000 |
| ISEM-1 | 1.68 | 45 | 13.5 | 36 | 69 | 20 | 8.8 | 4.2 | 90 | 305 x 620 x 1000 |
| ISEM-2 | 1.78 | 55 | 11.0 | 41 | 83 | 25 | 9.8 | 4.6 | 120 | 305 x 620 x 1000 |
| ISEM-3 | 1.85 | 60 | 10.0 | 49 | 103 | 29 | 11.8 | 5.0 | 130 | 305 x 620 x 1000 |
| ISEM-8 | 1.78 | 63 | 13.4 | 52 | 106 | 34 | 10.1 | 5.6 | 90 | 305 x 620 x 1050 |
| ISO-63 | 1.78 | 76 | 15.0 | 65 | 135 | 46 | 12.0 | 5.6 | 70 | 230 x 540 x 1000 |
| ISO-68 | 1.82 | 80 | 15.5 | 76 | 172 | 54 | 13.2 | 5.6 | 70 | 230 x 540 x 1000 |
| TTK-55 | 1.80 | 73 | 15.3 | 63 | 139 | 48 | 11.2 | 5.6 | 86 | 305 x 610 x 1050 |
| TTK-4 | 1.78 | 72 | 14.0 | 73 | 135 | 49 | 10.9 | 5.0 | 90 | 210 x 510 x 950 |
| TTK-5 | 1.78 | 80 | 15.5 | 80 | 150 | 53 | 11.6 | 5.7 | 80 | 210 x 510 x 950 |
| TTK-8 | 1.77 | 78 | 15.0 | 80 | 155 | 55 | 12.0 | 5.3 | 80 | 70 x 500 x 500 |
| TTK-9 | 1.77 | 90 | 18.0 | 92 | 180 | 67 | 13.0 | 5.8 | 70 | 100 x 400 x 700 |
| SIC-6 | 1.85 | 60 | 10.0 | 49 | 103 | 29 | 11.8 | 5.0 | 130 | 305 x 620 x 1000 |
| HGP-30 | 1.80 | 74 | 15.3 | 65 | 142 | 50 | 11.3 | 5.6 | 86 | 305 x 610 x 1050 |
| HPG-51 | 1.78 | 73 | 14.3 | 75 | 140 | 50 | 11.0 | 5.1 | 90 | 210 x 510 x 950 |
| HPG-53 | 1.78 | 81 | 15.7 | 80 | 156 | 55 | 11.8 | 5.8 | 80 | 210 x 510 x 950 |
| HPG-59 | 1.91 | 88 | 13.5 | 100 | 210 | 74 | 12.7 | 5.7 | 95 | 100 x 500 x 950 |
| HPG-81 | 1.77 | 80 | 15.1 | 83 | 161 | 58 | 12.2 | 5.2 | 80 | 70 x 500 x 500 |
| HPG-83 | 1.77 | 92 | 18.2 | 96 | 187 | 70 | 13.3 | 5.9 | 70 | 100 x 400 x 700 |
| FE-8 | 1.64 | 108 | 49 | 69 | – | – | – | – | – | – |

* 以上圖表均為典型值，無法保證必定能得到如此的結果。
* 熱膨脹係數的測量溫度範圍介於623 K (350℃) 至 723 K (450℃)之間。
* 單位轉換：μΩ•m=μΩ•cm × 0.01 MPa=kgf/cm² × 0.098 GPa=kgf/mm² × 0.0098 W/(m•K)=kcal/h•m•℃ × 1.16
* 除上述尺寸外，還有其他產品尺寸。詳細資訊，請聯繫東洋炭素。
* 常規石墨雜質含量以灰當量計約為 400 質量 ppm；但半導體行業等特定用途要求更高的純度。東洋炭素可利用高溫鹵素處理方法，將石墨提純至客戶要求的質量 ppm 水準。

## ■雜質分析範例

單位：質量 ppm

| 元素 | 含量 | | | 測量方法 |
|---|---|---|---|---|
| | 超高純度石墨 | 高純度石墨 | 常規石墨 | |
| Li | <0.001 | <0.001 | <0.03 | ICP-MS |
| B | 0.10 | 0.15 | 3 | ICP-MS |
| Na | <0.002 | <0.002 | <0.5 | ICP-MS |
| Mg | <0.001 | 0.004 | 0.2 | ICP-MS |
| Al | <0.001 | 0.012 | 14 | ICP-MS |
| Si | <0.1 | <0.1 | 2 | UV |
| K | <0.03 | 0.04 | 2 | FL-AAS |
| Ca | <0.01 | 0.08 | 6 | FL-AAS |
| Ti | <0.001 | <0.001 | 33 | ICP-MS |

| 元素 | 含量 | | | 測量方法 |
|---|---|---|---|---|
| | 超高純度石墨 | 高純度石墨 | 常規石墨 | |
| V | <0.001 | 0.018 | 40 | ICP-MS |
| Cr | <0.004 | 0.006 | <0.3 | ICP-MS |
| Mn | <0.001 | <0.001 | <0.2 | ICP-MS |
| Fe | <0.02 | 0.06 | 26 | ICP-MS |
| Co | <0.001 | <0.001 | <0.3 | ICP-MS |
| Ni | <0.001 | 0.006 | 4 | ICP-MS |
| Cu | <0.002 | <0.002 | <1 | ICP-MS |
| Zn | <0.002 | <0.002 | <0.6 | ICP-MS |
| Pb | <0.001 | <0.001 | <1 | ICP-MS |

* 以上資料均為實際測量值的範例，無法保證必定能得到如此的結果。
* ICP-MS：電感耦合等離子體質譜儀，FL-AAS：無焰原子吸收光譜儀，UV：吸收分光光度計。



未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

## ■化學性質

### ■與各種物質的反應起始溫度

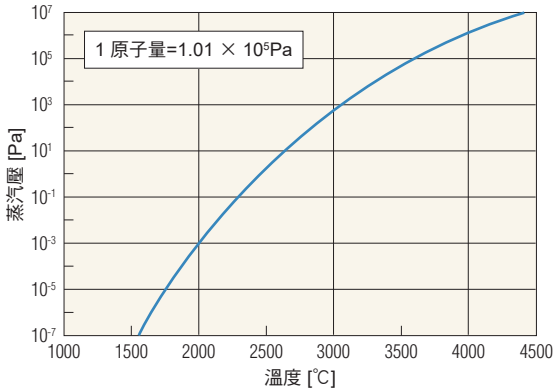
* 引用自其他出版物

| 反應物 | 反應起始溫度 | 反應化合物 |
|---|---|---|
| 鋁 | 800℃ | $Al_4C_3$ |
| 硼 | 1600℃ | $B_4C$ |
| 鐵 | 600 至 800℃ | $Fe_3C$ |
| 鈉 | 400 至 450℃ | $C_{64}Na$ 夾層化合物（出現 $O_2$ 時） |
| 鈷 | 218℃ | CoC、$Co_3C$ |
| 鉬 | 700℃ | $Mo_2C$ |
| 鎳 | 1310℃ | 鎳中碳化 |
| 矽 | 1150℃ | SiC |
| 銅 | — | |
| 鎂 | — | |
| 鉛 | — | |
| 錫 | — | |
| 鎢 | 1400℃ | $W_2C$, WC（在氫氣中） |
| 鉀 | 300℃ | $C_8K$ 其他夾層化合物 |
| 鋰 | 500℃ | $Li_2C_2$ |
| 鈹 | 900℃ | $Be_2C$（在真空或氬氣中） |
| 氧化硼 | 1200℃ | CO, B |
| 氧化釩 (V) | 438℃ | CO、V |
| 氧化鐵 (III) | 485℃ | CO、Fe |
| 氧化鈦 (IV) | 930℃ | CO、Ti、TiC |
| 二氧化矽 | 1250℃ | CO、Si、SiC |
| 氧化鋁 | 1280℃ | CO、Al、$Al_4C_3$ |
| 氧化鈹 | 960℃ | CO、Be、$Be_2C$ |
| 氧化鎂 | 1350℃ | CO、Mg |
| 氧化鋯 (IV) | 1300℃ | CO、Zr、ZrC |

參考：
- 最新的碳技術 (Shin Tanso Kogyo)
- 超高溫材料手冊 (Cho Kouon Zairyo Binran)
- 核石墨

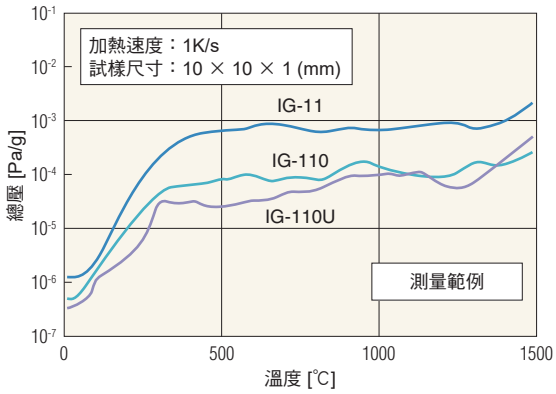
### ■蒸汽壓

* 引用自其他出版物




在 2,200℃ 溫度以下，石墨是一種極其穩定的材料。但在更高的溫度和真空狀態下，蒸汽壓會增加，因此必須注意石墨的加快磨損。
參考：碳素材料入門 (Shin Tanso Zairyo Nyumon)

### ■熱脫附譜 (TDS)




在高溫狀態下，石墨會釋放的氣體。
因此在應用於半導體行業等一些行業時，必須使用高度提純或超高度提純的石墨。只有這樣，石墨才會釋放較少的氣體。

### ■與多種大氣/氣體的反應 * 引用自其他出版物

| 大氣/氣體種類 | 反應起始溫度/反應溫度 | 發生的現象或生成的化合物 | 備註 |
|---|---|---|---|
| 空氣 | 420 至 460℃ | 氧化/CO、$CO_2$ | 若是高純度石墨，溫度將升高約 100℃ |
| 氧氣 ($O_2$) | 420 至 460℃ | 氧化/CO、$CO_2$ | 正常溫度下，與原子氧發生反應 |
| 水蒸汽 ($H_2O$) | 約650℃ | 氧化/CO、$CO_2$、$H_2$ | |
| 二氧化碳 ($CO_2$) | 約900℃ | 氧化/CO | |
| 氫氣 ($H_2$) | 約700℃ | 甲烷化/$CH_4$ | 在更高溫度下，生成 $C_2H_2$、$C_2H_4$、$C_2H_6$ 等 |
| 氮氣 ($N_2$) | 高於室溫時不活潑 | 昇華 | 釋放時以及 2700℃ 高壓 $N_2$ 環境中生成氰氣 $C_2N_2$ |
| 氯氣 ($Cl_2$) | 高於室溫時不活潑 | 昇華 | 低於 0℃ 的溫度下，生成夾層化合物 |
| 氟氣 ($F_2$) | 420 至 1900℃ | 氟化/CF | 根據溫度的不同，生成 $CF_4$、$C_2F_6$ |
| 氬氣 (Ar) | 任何溫度下不活潑 | 昇華 | |
| 真空 | — | 昇華 | 在更高溫度和真空環境下，更易昇華 |

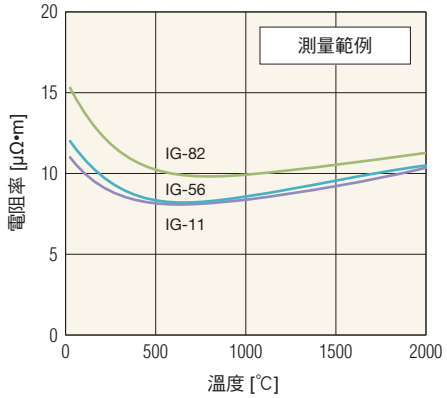
在氧化氣氛中，石墨可與氧氣在相對較低的溫度下發生反應。但在非氧化氣氛中，石墨是化學穩定性和熱穩定性都非常高的材料，可廣泛用於各種領域。

未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

# 性能資料

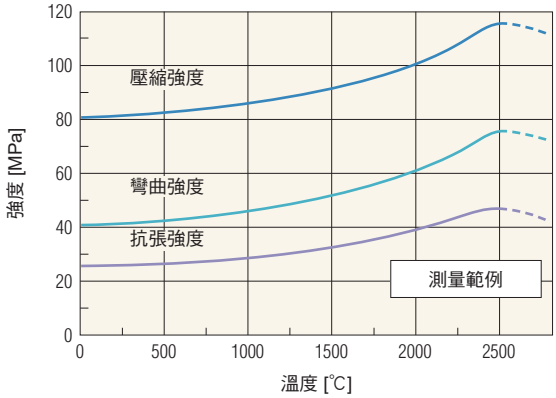
## ■高溫性能

### ■電阻率



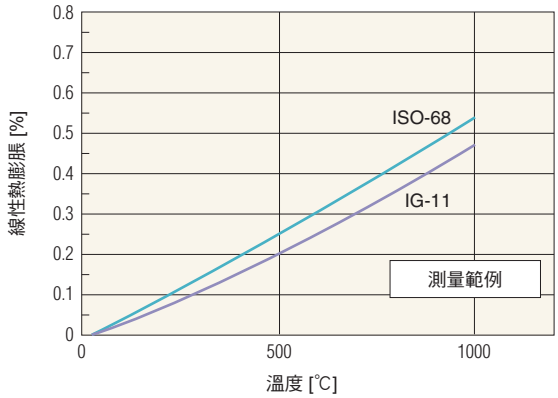

由於不同等級的熱特性不同，因此在為加熱元件選擇等級時，必須認真研究電阻率係數。

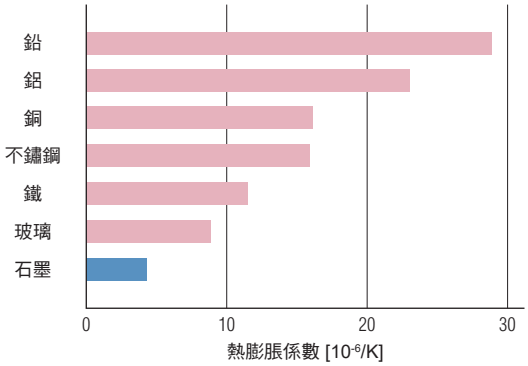
### ■強度 (IG-11)




石墨之所以能夠成為高溫條件下不可或缺的材料，就是因為石墨這一無與倫比的特性：強度可以隨著溫度的升高（直到 2,500℃）而增加。此時的強度大概可達到室溫條件下的兩倍。

### ■線性熱膨脹

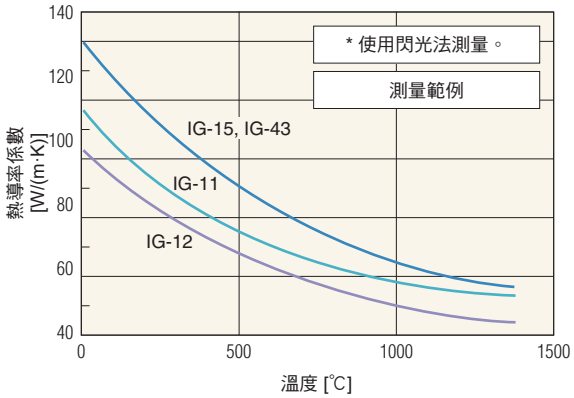


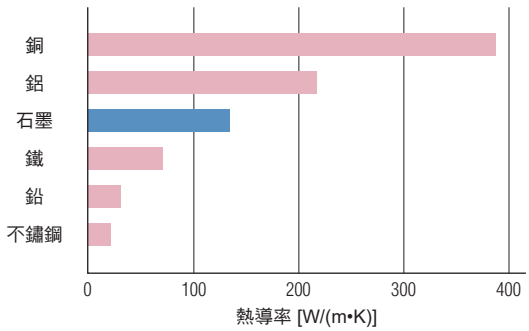




與普通金屬相比，石墨的熱膨脹係數極低。因此，在高溫情況下使用時，尺寸精度非常穩定。

參考：
熱膨脹係數 ($10^{-6}$/K) $= \dfrac{\text{線性熱膨脹 (\%)} \times 10^{-2}}{\text{溫差 (℃)}}$

### ■熱導率



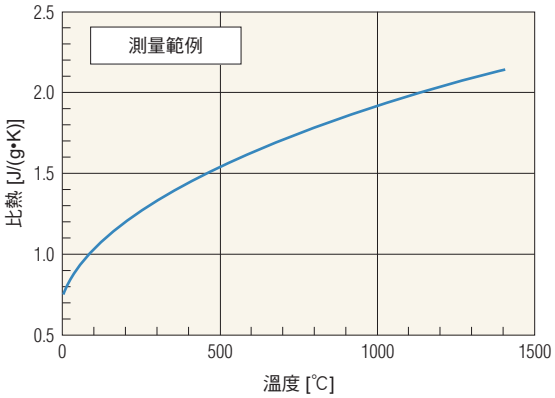

石墨的熱導率相當高，但熱膨脹係數卻非常低。這些特性形成了石墨出眾的耐熱衝擊性。室溫下，石墨熱導率和電阻率之間的關係如下所示。

熱導率 [W/(m•K)] $= \dfrac{0.13 \times 10^{4}}{\text{電阻率 [μΩ•m]}}$



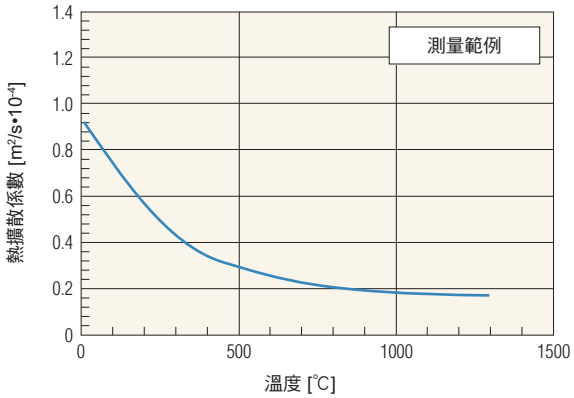
未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

## ■比熱




在多個熱力學函數中，比熱值都很重要。高溫下，不論何種等級的石墨，比熱值都大致相當。

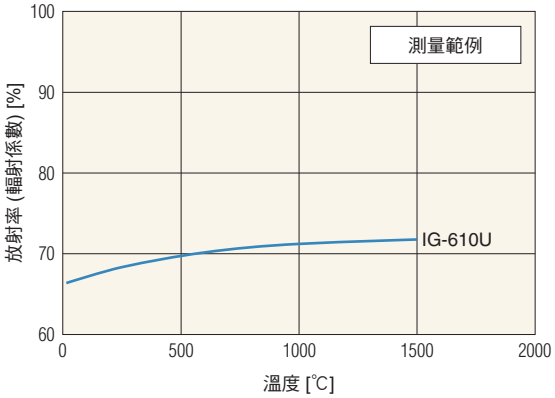
## ■熱擴散係數




本圖表顯示溫度越高，熱傳導越快。石墨熱擴散性優於其他材料。

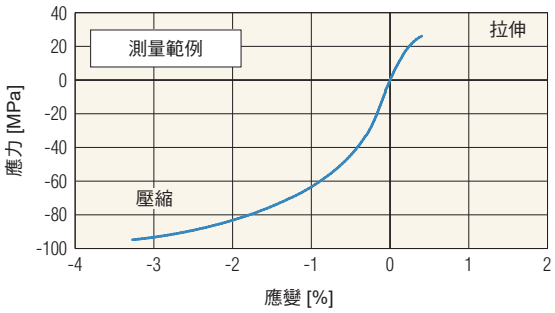
$$\text{參考：熱擴散係數} = \frac{\text{熱導率}}{\text{比熱} \times \text{密度}}$$

## ■放射率 (輻射係數)



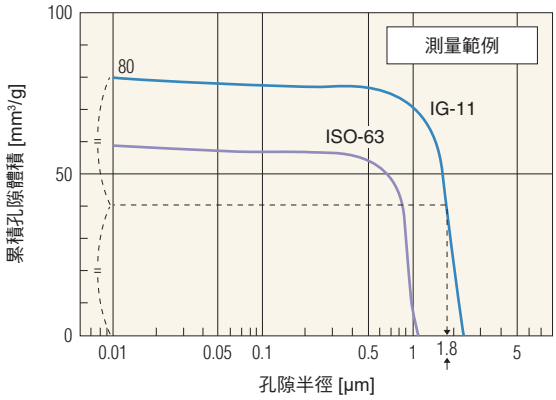

## ■物理特性

## ■應力應變曲線 (IG-12)




石墨通常會表現出彈塑性變形。拉伸和壓縮狀態下的斷裂行為不同，因此必須小心謹慎。

## ■孔隙分佈曲線




本曲線顯示經由汞滲法測試得知的孔隙分佈情況。孔隙分佈與透氣性及石墨的其他特性關係密切。累積孔隙體積的中間值表示平均空隙半徑。

範例：對 IG-11 而言　80/2 = 40 mm³/g→1.8 μm

未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。

# 加工



## ■表面粗糙度標準

由於碳素製品的多孔性，這種材料很難具有類似金屬的表面光潔度。右表顯示「表面光潔度符號」和表面粗糙度標準（Ry、Ra、Rz）的對應關係。

### ■表面粗糙度標準

| 光潔度符號（參考用） | 碳素的加工表面粗糙度 | | | 加工方法 | 金屬的加工表面粗糙度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ry | Ra | Rz | | Ry | Ra | Rz |
| ▽▽▽▽ | ▽Ry3 | 0.75/▽ | ▽Rz3 | 搪光、研磨 | ▽Ry0.8 | 0.2/▽ | ▽Rz0.8 |
| ▽▽▽ | ▽Ry12 | 3.0/▽ | ▽Rz12 | 磨床、車床銑床 | ▽Ry6.3 | 1.6/▽ | ▽Rz6.3 |
| ▽▽ | ▽Ry35 | 8.75/▽ | ▽Rz35 | 車床銑床 | ▽Ry25 | 6.3/▽ | ▽Rz25 |
| ▽ | ▽Ry100 | 25/▽ | ▽Rz100 | 車床銑床 | ▽Ry100 | 25/▽ | ▽Rz100 |
| ～ | 無特定標準 | | | 鋸床 | 無特定標準 | | |

* 3.0/▽ 表示 Ra 3.0 微米為最大值。

## ■加工尺寸公差

如果客戶圖紙上未指定公差，請使用 JIS B 0405 中等公差。

### ■尺寸公差標準

單位：mm

| 標稱尺寸分類 | | 公差 |
|---|---|---|
| 大於或等於 0.5 | 小於或等於 6 | ±0.1 |
| 大於 6 | 小於或等於 30 | ±0.2 |
| 大於 30 | 小於或等於 120 | ±0.3 |
| 大於 120 | 小於或等於 400 | ±0.5 |
| 大於 400 | 小於或等於 1000 | ±0.8 |
| 大於 1000 | 小於或等於 2000 | ±1.2 |

* 東洋炭素在日本加工石墨時，將適用上述資訊。

東洋炭素提供各式各樣不同的碳素和石墨等級，可滿足您的需求。
在實際使用我們的產品前，請務必聯絡本公司銷售部門，諮詢有關最適合等級的選擇事宜。



未事先獲得東洋炭素許可，不得使用或複製本型錄中的任何資訊。