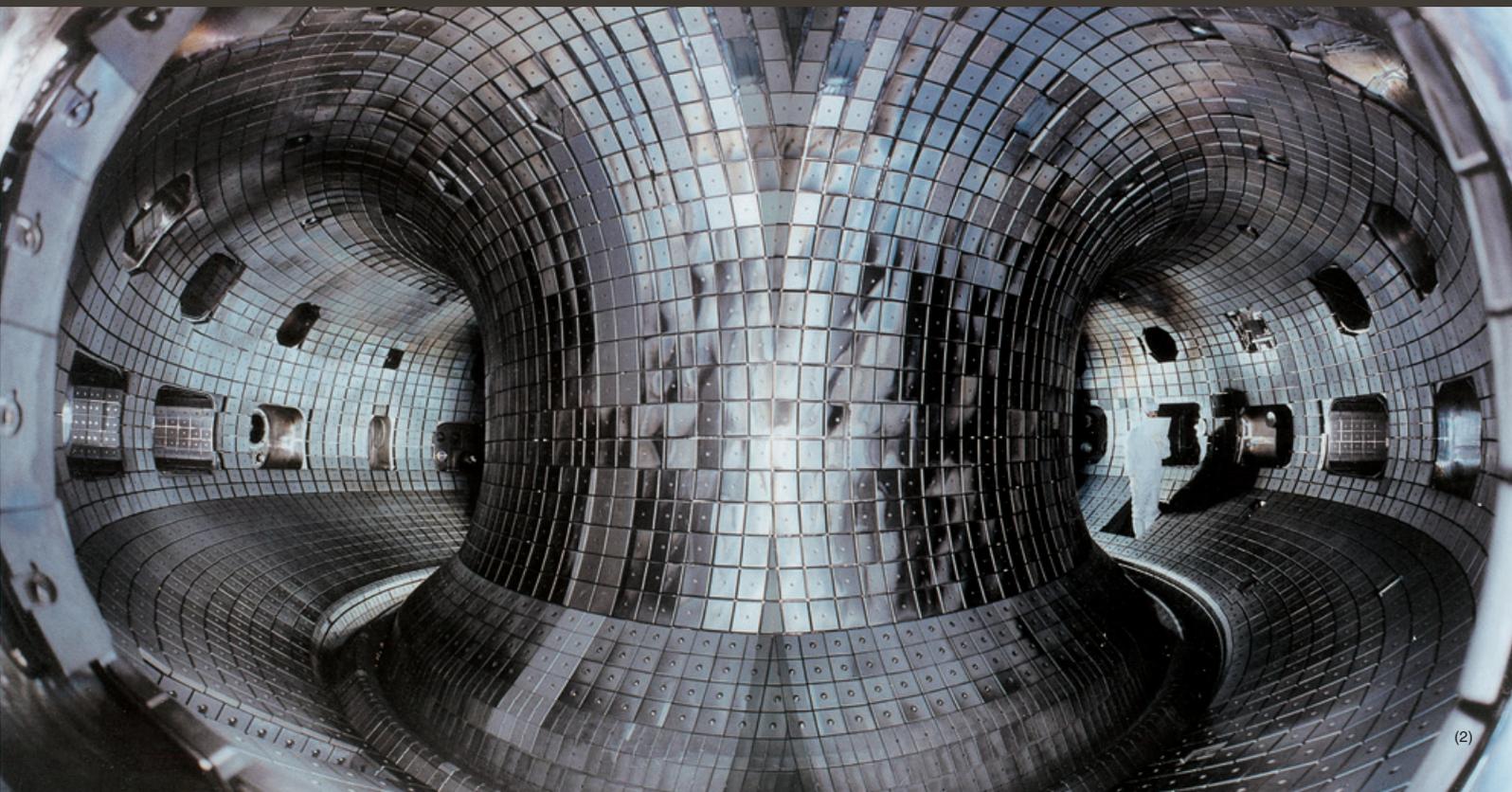




- (1) Equipement de fabrication de silicium monocristallin
- (2) Equipement de test de plasma critique (JT-60)  
\* Photographies fournies par l'Agence japonaise de l'énergie nucléaire

(1)



(2)

# Propriétés des produits en graphite spécial

L'industrie a demandé au fil des ans un carbone aux propriétés de plus en plus compactes et stables. Dans ce contexte, Toyo Tanso a été le pionnier de notre industrie en développant un "graphite isotropique". Il s'agit d'un matériau en graphite doté de micro-particules et d'une structure isotropique ainsi que de propriétés obtenues par pression isostatique à froid (Cold Isostatic pressing, ou CIP). Nos graphites isotropes ont été utilisés dans un grand nombre d'industries. Citons notamment : l'industrie des semi-conducteurs, dans laquelle l'innovation progresse rapidement ; l'industrie des énergies renouvelables respectueuses de l'environnement ; l'industrie du moulage, dans laquelle la précision est une priorité ; l'industrie de l'énergie nucléaire, dans laquelle la fiabilité doit être au maximum. Notre excellence est reconnue par nos clients, qui accompagnent notre croissance. L'effet de synergie entre notre technologie haute pureté exclusive et différentes technologies de revêtement nous garantit, à l'avenir également, d'utiliser notre position de société à la pointe, pour continuer à libérer le potentiel infini du carbone.

Graphite spécial

## ■ Graphite isotropique

Le graphite classique était anisotropique, ce qui limitait son utilisation dans de nombreuses applications. Toutefois, le graphite isotropique ne présente pas de différence de propriétés suivant la direction de section transversale, ce qui en fait un matériau qui facilite la conception et l'utilisation.

## ■ Fiabilité élevée

Le graphite isotropique est plus dur que le graphite classique, en raison de sa structure à micro particules. Ceci permet d'obtenir un matériau extrêmement fiable avec très peu de variation de ses caractéristiques.

## ■ Résistance à la chaleur extrême

Dans une atmosphère inerte, il est possible d'avoir une stabilité d'usage même à des températures extrêmement élevées de 2 000°C ou plus. Le matériau a une faible expansion thermique et un coefficient de conductivité thermique élevé, ce qui donne une résistance aux chocs thermiques et des propriétés de distribution de la chaleur excellentes, associées à une déformation thermique réduite. Il comporte par ailleurs des caractéristiques spéciales, où sa résistance augmente à mesure que la température atmosphérique augmente jusqu'à 2 500°C.

## ■ Excellente conductivité électrique

L'excellente résistance à la chaleur signifie que le graphite est un matériau optimum pour les applications tels que les éléments chauffants haute température.

## ■ Excellente résistance chimique

A l'exception de certains oxydiseurs forts, il est chimiquement stable. Le graphite peut être utilisé de manière stable y compris dans les environnements provoquant la corrosion des métaux.

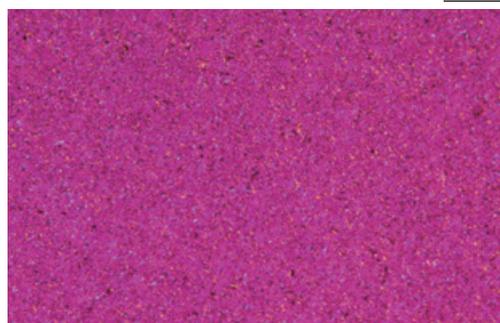
## ■ Légèreté et facilité d'usinage

La densité de masse est faible comparée aux matériaux métalliques autorisant une conception légère. Par ailleurs, ses propriétés d'usinage mécanique sont excellentes, ce qui facilite un processus de mise en forme précis.

## ■ Graphite isotropique et graphite anisotropique

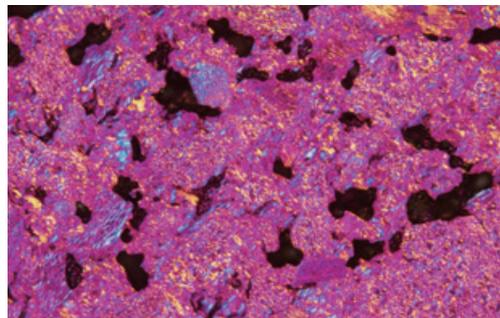
Graphite isotropique haute densité

100 µm

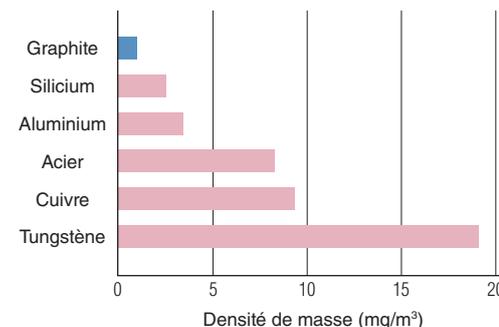


Graphite anisotropique

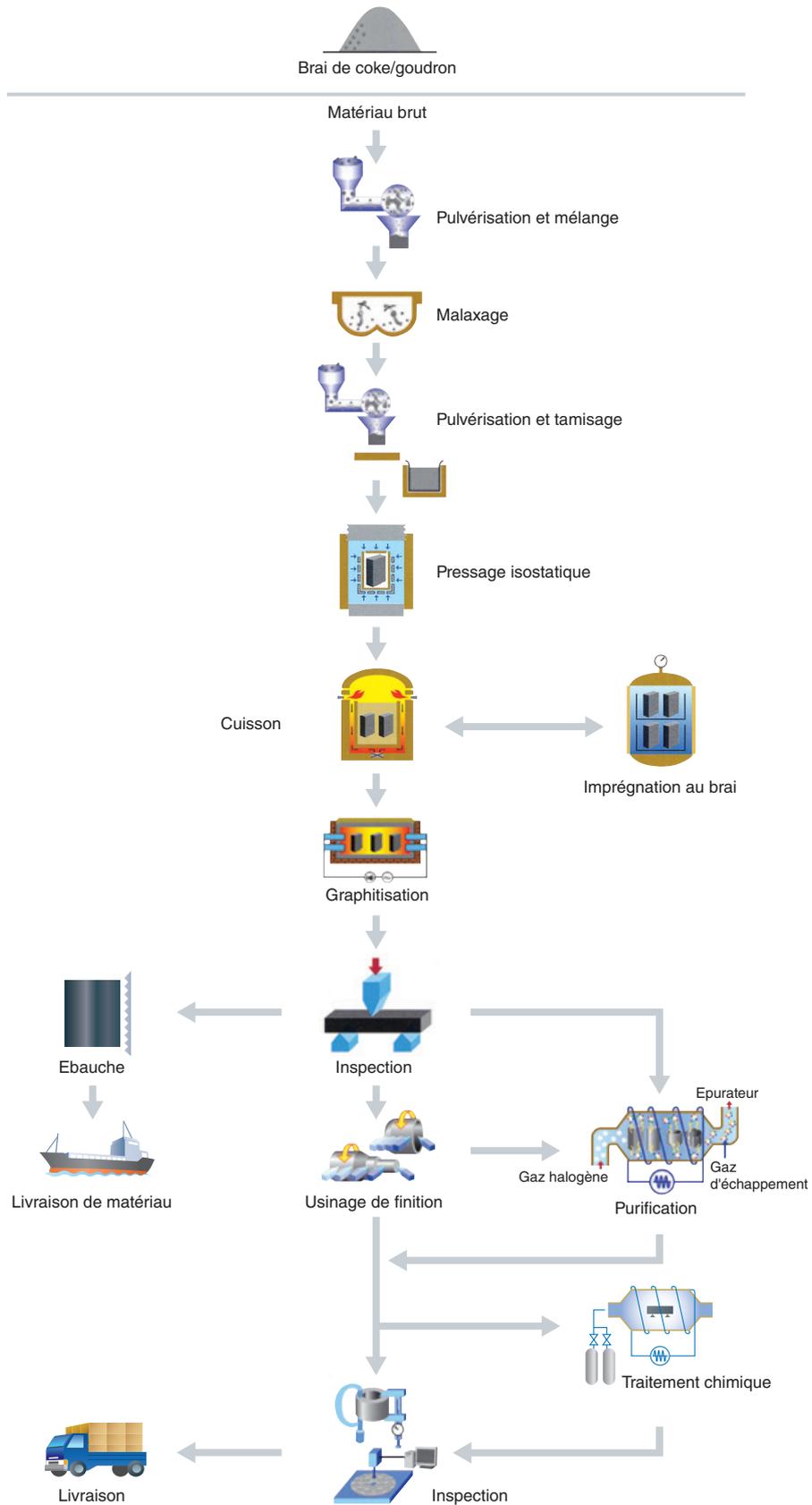
100 µm



Le graphite isotropique haute densité est différent du graphite classique, du fait de sa nature isotropique et de sa structure à micro particules, permettant de créer un matériau très fort et extrêmement fiable avec une variation minimale. Ce matériau en graphite isotropique résout les problèmes associés au graphite anisotropique classique.



# Processus de fabrication



Graphite spécial

# Application

Les produits spéciaux en graphite de Toyo Tanso sont extrêmement recherchés pour leurs excellentes performances et fiabilité et sont utilisés dans de nombreux domaines de notre vie quotidienne. Dans l'industrie de l'environnement et de l'énergie, nos produits sont utilisés pour la fabrication de cellules solaires, les applications de l'électricité nucléaire et l'aérospatiale. Dans l'industrie électronique, nous fournissons des matériaux pour différents processus de fabrication tels que le silicium polycristallin et le silicium monocristallin, les DEL blanches et les appareils haute fréquence. Les applications de base de nos produits comprennent les fours industriels, les matrices de coulée continue comme ceux pour les alliages de cuivre, les fibres optiques et les électrodes EDM pour la fabrication de moules.

Graphite spécial

## ■ Environnement et énergie

- Fabrication de cellules et de panneaux solaires
- Energie nucléaire : Réacteur à refroidissement par gaz haute température, fusion nucléaire
- Electrolyse du fluor
- Piles à combustible
- Aérospatiale



Radiateur latéral



Composant central pour réacteur haute température refroidi au gaz  
\* Photographies fournies par l'Agence japonaise de l'énergie nucléaire



Réacteur à fusion nucléaire  
Premier mur au plasma  
\* Photographies fournies par l'Agence japonaise de l'énergie nucléaire



Electrode pour génération de fluor gazeux



## ■ Electronique

- Applications de fabrication de semi-conducteurs au silicium
- Fabrication de semi-conducteurs au silicium polycristallin
- Equipement de fabrication de silicium monocristallin
- Suscepteurs pour croissance épitaxiale
- Electrodes CVD plasma
- Implantation d'ions
- Moules de scellage hermétique



Silicium monocristallin  
Equipement de fabrication



Creuset



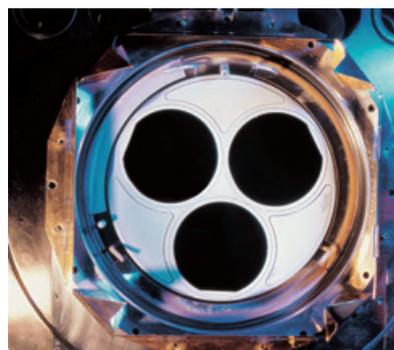
Réflecteur



Elément chauffant



Moules de scellage



■ **Electronique**

- Fabrication de semi-conducteurs composites  
Pièces d'équipement de fabrication de cristaux  
Suscepteurs MOCVD
- Fabrication de panneaux LCD  
Panneaux chauffants  
Electrode pour décapage au plasma
- Fabrication de disque dur  
Cibles de crachotement



Suscepteur MOCVD



Suscepteur pancake



■ **Métallurgie**

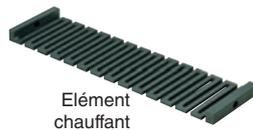
- Coulée continue  
Filières  
Mandrins
- Presse chaude  
Matrices  
Poinçon  
Manchons  
Espacements
- Four industriel  
Eléments chauffants  
Soles
- Creusets à évaporation à vide
- Creusets d'analyse de gaz
- Applications de fabrication de fibre optique  
Eléments chauffants  
Inducteurs
- Electrodes EDM



Moule à presse chaude (modèle de coupe)



Filières de coulée continue



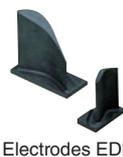
Elément chauffant



Creusets d'évaporation à vide



- Electrodes EDM



Electrodes EDM



# Données de propriétés

## ■ Propriétés type

Qualité	Densité de masse	Dureté	Résistivité électrique	Résistance à la flexion	Résistance à la compression	Résistance à la traction	Module de Young	Coefficient d'expansion thermique	Conductivité thermique	Dimensions standard	
	mg/m <sup>3</sup>	HSD	μΩ·m	MPa	MPa	MPa	GPa	10 <sup>-6</sup> /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	410 x 410 x 2040 D585 x 1050
IG-12	1,78	55	12,5	39	88	28	10,8	4,7	100	305 x 620 x 1000	D585 x 1050
IG-15	1,90	60	9,5	54	103	29	11,8	4,8	140	230 x 620 x 1000	
IG-19	1,75	60	17,0	38	88	25	9,5	4,6	80	D585 x 1050	305 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	190 x 620 x 1500	D1150 x 560
IG-70	1,83	58	10,0	47	103	31	11,8	4,6	130	305 x 620 x 1000	D460 x 1050
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 to 1200	
ISO-63	1,78	76	15,0	65	135	46	12,0	5,6	70	230 x 540 x 1000	
ISO-66	1,82	75	14,4	70	134	46	12,6	7,1	80	180 x 450 x 850	
ISO-68	1,82	80	15,5	76	172	54	13,2	5,6	70	230 x 540 x 1000	
TTK-50	1,80	70	13,0	60	130	40	11,5	5,1	100	305 x 620 x 1000	230 x 540 x 1000
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	150 x 400 x 700	
TTK-9	1,77	90	18,0	92	180	67	13,0	5,8	70	150 x 400 x 700	
SIC-6	1,85	60	10,0	49	103	29	11,8	5,0	130	305 x 620 x 1000	
SIC-12	1,77	65	14,1	47	93	29	10,8	5,0	80	305 x 620 x 1000	
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	150 x 400 x 700	
HPG-83	1,77	92	18,2	96	187	70	13,3	5,9	70	150 x 400 x 700	

\* Les chiffres ci-dessus sont des valeurs type et ne sont pas garantis.

\* La plage de température de mesure pour le coefficient d'expansion thermique est comprise entre 350 et 450°C.

\* Conversion d'unité : μΩ·m=μΩ·cm × 0,01 MPa=kgf/cm<sup>2</sup> × 0,098 GPa=kgf/mm<sup>2</sup> × 0,0098 W/(m·K)=kcal/h·m·°C × 1,16

\* Il y a d'autres dimensions de produits en plus de celles précitées. Contactez Toyo Tanso pour plus d'informations.

## ■ Exemple d'analyse d'impureté

Unité : masse ppm

Elément	Contenu			Méthode de mesure
	Graphite de pureté ultra élevée	Graphite de pureté élevée	Graphite régulier	
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

Elément	Contenu			Méthode de mesure
	Graphite de pureté ultra élevée	Graphite de pureté élevée	Graphite régulier	
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

\* Les chiffres ci-dessus sont des exemples de la mesure actuelle et ne sont pas garantis.

\* ICP-MS : Spectromètre de masse à plasma à couplage inductif, FL-AAS : Flameless Atomic Absorption Spectrometer (spectromètre à absorption atomique sans flamme), UV : Spectrophotomètre à absorption.

\* La teneur en impuretés du graphite classique est de 400 ppm en masse environ ; une pureté supérieure est toutefois requise pour les applications telles que les industries du semi-conducteur. Chez Toyo Tanso, nous pouvons utiliser un traitement halogène haute température pour purifier le graphite aux niveaux de ppm en masse requis par nos clients.

## ■ Propriétés chimiques

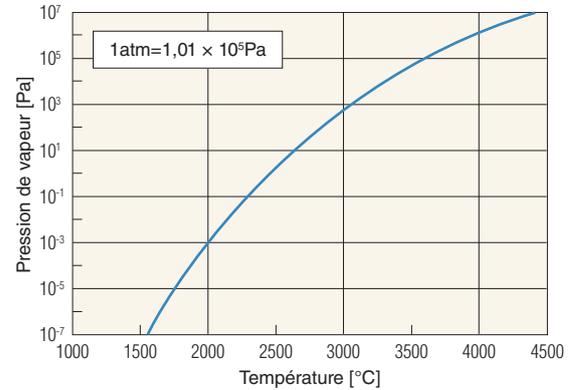
### ■ Températures de réaction initiale avec différentes substances

\* Extrait d'autres publications

Réactif	Température de réaction initiale	Composé de réaction
Aluminium	800 °C	Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>
Bore	1600 °C	B <sub>4</sub> C
Fer	600 à 800 °C	Fe <sub>3</sub> C
Sodium	400 à 450 °C	C <sub>6</sub> Na <small>Composé intercalaire (si O<sub>2</sub> est présent)</small>
Cobalt	218 °C	CoC, Co <sub>3</sub> C
Molybdène	700 °C	Mo <sub>2</sub> C
Nickel	1310 °C	Ni <small>Carbonisation dans Ni</small>
Silicium	1150 °C	SiC
Cuivre	—	
Magnésium	—	
Plomb	—	
Etain	—	
Tungstène	1400 °C	W <sub>2</sub> C, WC <small>(dans l'hydrogène)</small>
Potassium	300 °C	C <sub>8</sub> K <small>Autres composés d'intercalation</small>
Lithium	500 °C	Li <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
Béryllium	900 °C	Be <sub>2</sub> C <small>(dans le vide ou He)</small>
Oxyde de bore	1200 °C	CO, B
Oxyde de vanadium (V)	438 °C	CO, V
Oxyde de fer (III)	485 °C	CO, Fe
Oxyde de titane (IV)	930 °C	CO, Ti, TiC
Dioxyde de silicium	1250 °C	CO, Si, SiC
Alumine	1280 °C	CO, Al, Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>
Oxyde de béryllium	960 °C	CO, Be, Be <sub>2</sub> C
Oxyde de magnésium	1350 °C	CO, Mg
Oxyde de zirconium (IV)	1300 °C	CO, Zr, ZrC

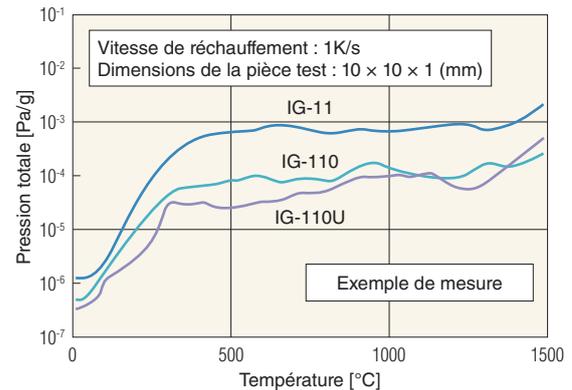
### ■ Pression de vapeur

\* Extrait d'autres publications



Le graphite est un matériau extrêmement stable à des températures inférieures à 2 200 °C. Toutefois, la pression de vapeur augmente à des températures plus élevées et à des vides élevés, ce qui impose d'être vigilant en ce qui concerne l'usure accélérée du graphite.

### ■ Spectre de désorption thermique (TDS)



Le graphite émet le gaz absorbé à des températures élevées. Certaines applications telles que les industries des semi-conducteurs doivent utiliser un graphite hautement purifié ou ultra purifié, émettant moins de gaz.

### ■ Réactivité avec différents types d'atmosphère/de gaz

\* Extrait d'autres publications

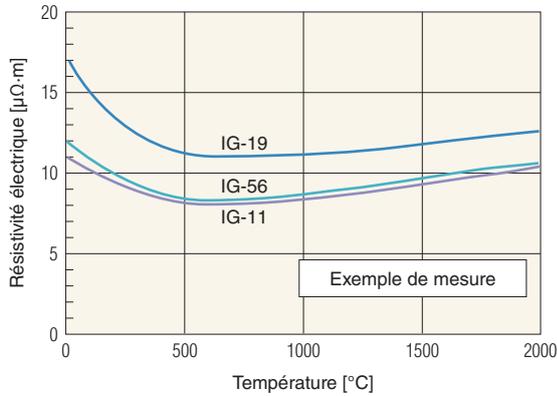
Types d'atmosphère/de gaz	Températures de réaction initiale/Températures de réaction	Phénomène de genèse ou composé produit	Remarques
Air	420 à 460 °C	Oxydation/CO, CO <sub>2</sub>	Env. 100 °C plus élevé dans le cas de graphite haute pureté
Oxygène (O <sub>2</sub> )	420 à 460 °C	Oxydation/CO, CO <sub>2</sub>	Réagit avec l'oxygène nucléaire à température normale
Vapeur (H <sub>2</sub> O)	Env. 650 °C	Oxydation/CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	Env. 900 °C	Oxydation/CO	
Hydrogène (H <sub>2</sub> )	Env. 700 °C	Méthanation/CH <sub>4</sub>	Production de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> environ à une température plus élevée
Azote (N <sub>2</sub> )	Inerte à une température supérieure à la température ambiante	Sublimation	Produit du cyanogène C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> lors de la décharge et dans une atmosphère N <sub>2</sub> haute pression à 2700 °C
Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	Inerte à une température supérieure à la température ambiante	Sublimation	Produit un composé d'intercalation à une température inférieure à 0 °C
Fluor (F <sub>2</sub> )	420 à 1900 °C	Fluorination/CF	Produit du CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ou autre jusqu'à la température
Argon (Ar)	Inerte à toute température	Sublimation	
Vide	—	Sublimation	Dans l'atmosphère à température supérieure et l'atmosphère de vide, le plus léger est sublimé

Dans une atmosphère d'oxydation, le graphite réagit avec l'oxygène à une température relativement basse. Toutefois, dans une atmosphère non oxydante, le graphite est un matériau extrêmement stable chimiquement et thermiquement, qui autorise une large gamme d'applications.

# Propriétés

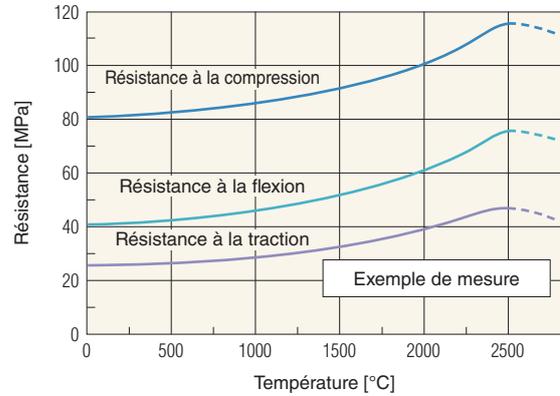
## ■ Propriétés des températures élevées

### ■ Résistivité électrique



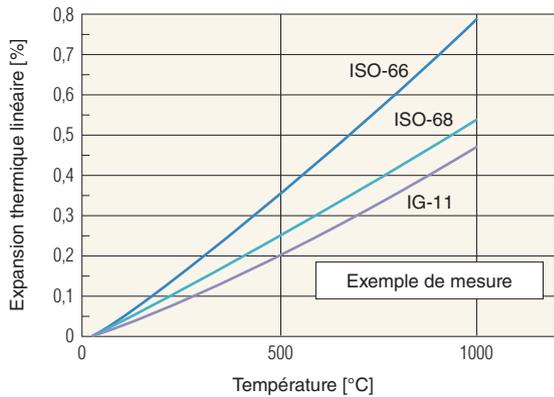
Les caractéristiques thermiques étant différentes d'une qualité à l'autre, le coefficient de résistivité électrique doit être étudié avec soin lors de la sélection d'une qualité pour un élément chauffant.

### ■ Résistances (IG-11)

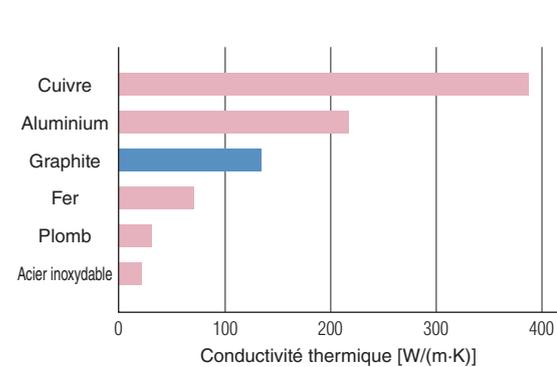
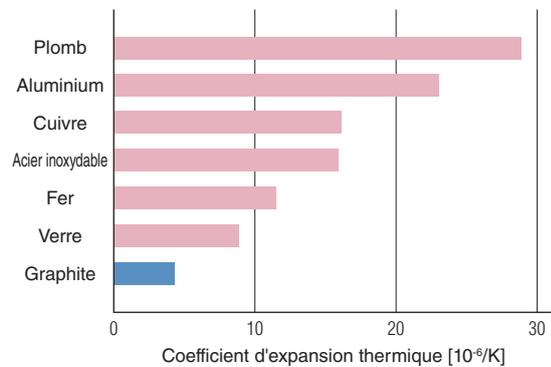
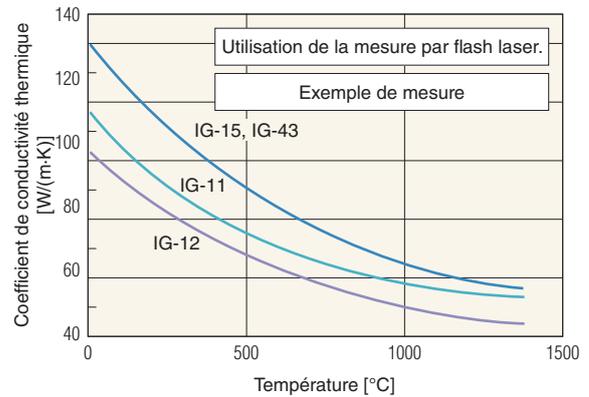


Une caractéristique inégalée du graphite, qui la rend indispensable dans les applications de température élevée, réside dans l'augmentation de la résistance à mesure que la température augmente (jusqu'à 2 500°C). La résistance atteint des niveaux près de deux fois supérieurs à ceux obtenus à température ambiante.

### ■ Expansion thermique linéaire



### ■ Conductivité thermique



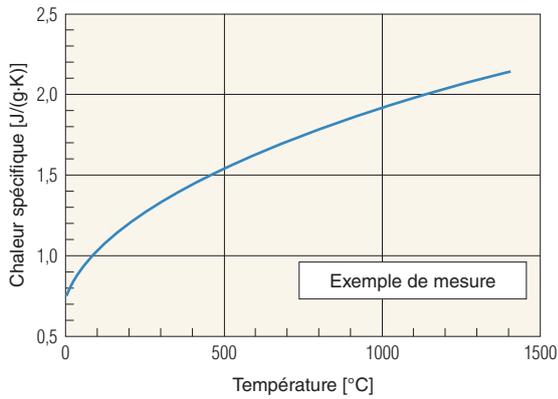
Comparé aux matériaux courants, le coefficient d'expansion thermique du graphite est extrêmement bas. Par conséquent, lorsqu'il est utilisé dans des applications à température élevée, la précision dimensionnelle est très stable.

La conductivité thermique du graphite est relativement élevée, tandis que le coefficient d'expansion thermique est très faible. Ces caractéristiques contribuent à sa résistance supérieure aux chocs thermiques. La relation entre la conductivité thermique et la résistivité électrique du graphite à température ambiante est indiquée ci-après.

$$\text{Référence : Coefficient (10}^{-6}\text{/K) d'expansion thermique} = \frac{\text{Expansion thermique linéaire (\%)} \times 10^2}{\text{Différence de température (}^{\circ}\text{C)}}$$

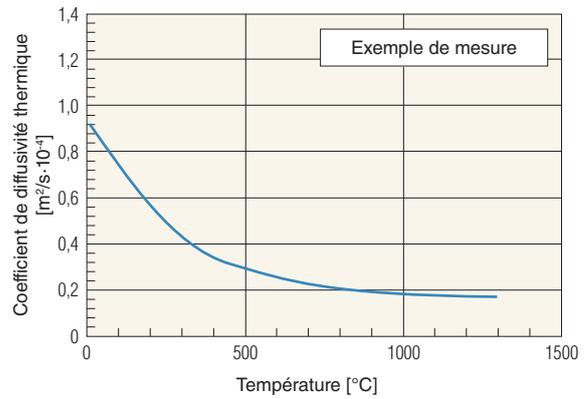
$$\text{Conductivité thermique [W/(m·K)]} = \frac{0,13 \times 10^4}{\text{Résistivité électrique (\mu\Omega\cdot\text{m})}}$$

■ Chaleur spécifique



En raison de la nature anisotropique de ses cristaux, la chaleur spécifique du graphite à température ambiante reste à 1/3 de celle des solides généraux. La valeur de chaleur spécifique est essentielle dans différentes fonctions thermodynamiques. A températures élevées, les valeurs de chaleur spécifiques sont similaires indépendamment de la qualité du graphite.

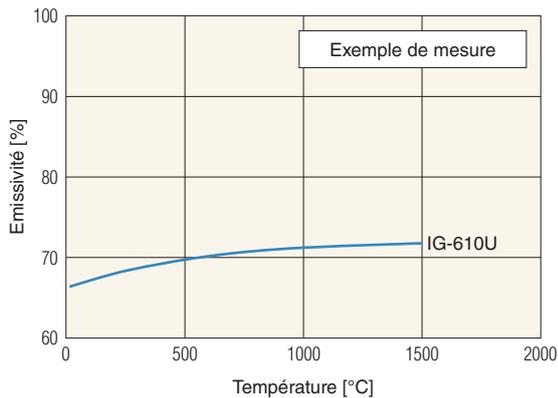
■ Coefficient de diffusivité thermique



Ce graphique montre que plus la température est élevée plus la chaleur est transmise rapidement. La diffusivité thermique du graphite est supérieure à celle des autres matériaux.

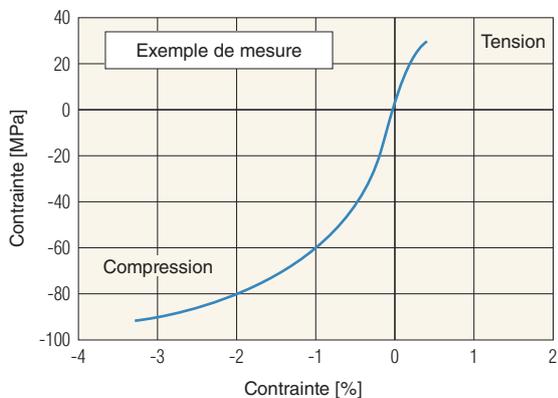
Référence : 
$$\text{Coefficient de diffusivité thermique} = \frac{\text{Conductivité thermique}}{\text{Chaleur spécifique} \times \text{Densité}}$$

■ Emissivité



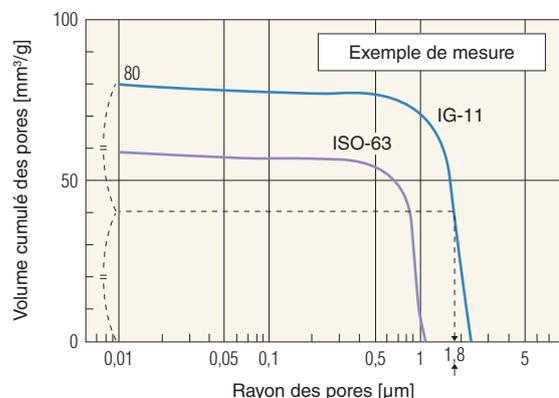
■ Propriétés physiques

■ Courbe de contrainte-déformation (IG-12)



Le graphite présente généralement une déformation élastique-plastique. Le comportement de la fracture est différent sous tension et sous compression, il convient d'être prudent.

■ Courbe de distribution des pores



Ceci montre la distribution des pores grâce à la méthode de pénétration du mercure. La distribution des pores est étroitement associée à la perméabilité du gaz et aux autres propriétés uniques du graphite. La position à mi-chemin du volume cumulé des pores indique le rayon moyen des pores.

Exemple : Pour IG-11  $80/2 = 40 \text{ mm}^3/\text{g} \rightarrow 1,8 \text{ µm}$

# Usinage

## Standards de rugosité de surface

Les produits à base de carbone étant poreux, il est difficile d'obtenir une finition de surface équivalente au métal. Le tableau ci-contre indique la correspondance du "Symbole de finition de surface" et les standards de rugosité de la surface, Ry & Ra & Rz.

Graphite spécial

## Standards de rugosité de surface

Symbole de finition (pour référence)	Rugosité de surface d'usinage pour le carbone			Méthode de finition	Rugosité de surface d'usinage pour le métal		
	Ry	Ra	Rz		Ry	Ra	Rz
▽▽▽▽	√Ry3	0,75/√	√Rz3	Pierrage rodage	√Ry0,8	0,2/√	√Rz0,8
▽▽▽	√Ry12	3,0/√	√Rz12	Meuleuse, tour fraiseuse	√Ry6,3	1,6/√	√Rz6,3
▽▽	√Ry35	8,75/√	√Rz35	Tour fraiseuse	√Ry25	6,3/√	√Rz25
▽	√Ry100	25/√	√Rz100	Tour fraiseuse	√Ry100	25/√	√Rz100
~	Sans norme particulière			Machine à scier	Sans norme particulière		

\* 3,0/√ signifie que la micro jauge de Ra 3,0 est le maximum.

## Tolérances dimensionnelles

Si la tolérance n'est pas spécifiée sur le dessin du client, appliquez la qualité intermédiaire de JIS B 0405.

## Standards de tolérance de dimension

Unité : mm

Catégorie de dimension nominale		Tolérance
0,5 ou plus	6 ou moins	±0,1
Supérieur à 6	30 ou moins	±0,2
Supérieur à 30	120 ou moins	±0,3
Supérieur à 120	400 ou moins	±0,5
Supérieur à 400	1000 ou moins	±0,8
Supérieur à 1000	2000 ou moins	±1,2

\* L'information ci-dessus peut être appliquée lorsque le graphite est usiné par Toyo Tanso au Japon.

Toyo Tanso dispose d'une large gamme de qualités de carbone et de graphite répondant à vos exigences. Avant d'utiliser l'un de nos produits, veuillez à contacter notre service commercial pour avoir un avis sur la sélection de la qualité la plus indiquée.