

Un magazine pour une fabrication innovante

BM005F

# YOUR GLOBAL CRAFTSMAN STUDIO



**CONQUÉRIR LE CIEL**  
**LES CHALLENGERS**  
**SOUTIENNENT L'AÉRONAUTIQUE**

# Vol. 5 Sommaire

YOUR GLOBAL CRAFTSMAN STUDIO



## 3-8

### LUMIÈRES sur le MARCHÉ Rivaliser mondialement dans le ciel



## 13-14

### IL ÉTAIT une fois, MITSUBISHI

Le berceau de l'usinage au Japon, au cœur de Tokyo - L'usine de Tokyo -



## 15-18

### UN POINT sur la TECHNOLOGIE

Un demi-siècle d'histoire des PRFC, des matériaux qui ont changé le monde



## 9-12

### ACCENT sur les PERFORMANCES

IHI L'usine n° 2 de Soma



## 19-22

### UN ARTISAN DERRIÈRE CHAQUE CREATION

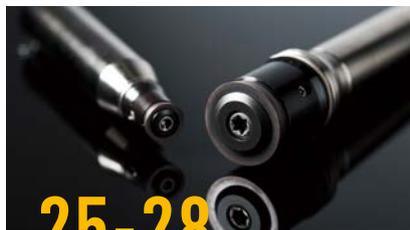
Le défi des nouveaux matériaux « LA GAMME de forets MC » pour l'usinage des PRFC



## 23-24

### À PROPOS de NOUS

Un centre de recherche développant de nouveaux matériaux et revêtements pour accompagner l'industrie aéronautique - Le Département couches minces et revêtements de l'Institut central de recherche



## 25-28

### TECHNOLOGIE de POINTE

Le défi des outils rotatifs de nouvelle génération



## 29-30

### LE WA : UN CONCEPT tout en HARMONIE

Shuriken

## MESSAGE



**Fumio Tsurumaki**  
Président  
Advanced Materials &  
Tools Company  
Directeur général administratif  
Mitsubishi Materials Corporation

En tant que fabricants d'outillage industriel, nous nous trouvons en quelque sorte au pied d'une montagne colossale dressée fièrement devant nous. Cette montagne correspond à la constante évolution des nouveaux matériaux. Pour servir de multiples usages, de nouveaux matériaux toujours plus légers, toujours plus résistants apparaissent notamment dans les moteurs ou les fuselages d'avion, activités à la pointe de la technologie. Notre mission, main dans la main avec nos clients du secteur de l'aéronautique, est de parvenir au sommet de cette montagne en créant de nouvelles technologies d'usinage. Le sentier montagneux emprunté est particulièrement escarpé et sinueux, et personne ne l'ayant parcouru avant nous, nous devons le défricher. Nos capacités de décision et notre flexibilité à nous adapter à une conjoncture fluctuante, à l'instar

de la météo, sont des atouts majeurs. Pour parvenir au sommet, nous devons faire preuve d'une volonté ferme et d'une résistance à toute épreuve, mais devons également disposer de toute la logistique nécessaire. Cette logistique à mettre en place correspond à nos produits, nos techniques d'usinage, et nos capacités de production. Quant à notre résistance, elle dépendra de nos investissements financiers et de nos ressources humaines. C'est en satisfaisant toutes ces conditions que nous dessinerons avec nos clients l'itinéraire jusqu'au sommet, qui nous permettra, dans une volonté commune de relever ce défi colossal.

J'espère que notre magazine « CRAFTSMAN STUDIO » permettra de partager la joie de ces challengers qui sont parvenus au sommet, qui sont encore en chemin, ou qui ont fait halte dans un des « refuges » de cette montagne.



# Devenir le partenaire privilégié de nos clients pour contribuer à leur succès commercial

Nous vous remercions de l'intérêt que vous portez à ce 5<sup>ème</sup> numéro de notre magazine « Your Global Craftsman Studio ».

À l'heure actuelle, de nombreux domaines connaissent une vertigineuse révolution technologique. L'industrie aéronautique évoquée dans ce numéro mobilise véritablement la pointe de la technologie, ce qui nécessite de la part des fabricants d'outillage industriel de concevoir rapidement des techniques d'usinage adaptées aux nouveaux matériaux tels que les alliages aluminium-lithium ou les CMC (Composites à Matrice Céramique).

Pour pouvoir gérer et répondre aux demandes de nos clients utilisateurs de ces matériaux à la pointe de la technologie, il est essentiel pour nous d'intégrer les besoins du marché. Nous considérons que les fabricants d'outillage ne doivent pas déterminer par eux-mêmes les limites de leurs produits ou de leurs services, mais doivent créer des choses inimaginables jusqu'alors en s'attaquant de front aux idéaux recherchés par leurs clients avec eux. Pour cela, en tant que fabricant d'outillage, il est capital d'« effectuer des choix et de se concentrer » pour entrer de plain-pied dans les domaines de spécialité de nos clients. De notre côté, nous renforçons nos activités par secteur, notamment dans l'aéronautique, l'automobile, et dans le secteur médical. Le département aéronautique présenté dans le présent numéro incarne parfaitement cette entrée de plain-pied dans le domaine de l'aéronautique.

Pour devenir les authentiques partenaires de nos clients, nous considérons qu'il est essentiel de ne pas seulement communiquer par écrit, mais également de leur faire découvrir concrètement les conditions dans lesquelles nous usinons, de renforcer notre compréhension mutuelle et de partager nos découvertes. Pour fournir à nos clients une assistance technique précise, nous disposons de cinq centres techniques à travers le monde et nous avons ouvert un nouveau centre technique dans la région centrale du Japon à Gifu. Nous avons, ainsi, mis en place un système d'assistance permettant le soutien de nos clients de la région centrale du Japon qui concentre un nombre important d'entreprises du secteur de l'aéronautique et de l'automobile, mais également de tout l'ouest du Japon. À l'avenir nous projetons d'élargir et de renforcer au niveau mondial notre réseau de centres techniques.

Afin d'éveiller un vif intérêt sur les valeurs de notre entreprise auprès de l'industrie, nous avons lancé, en mai dernier, notre nouvelle marque de produits « DIAEDGE » : elle matérialise notre passion pour le secteur des métaux durs utilisés dans la fabrication de nouveaux produits.. Il s'agit pour nous de créer des produits à la fois d'une qualité élevée comme le « DIAMant », performants comme le tranchant, « EDGE », d'une lame, et capables d'enthousiasmer et d'impressionner nos clients. J'espère que nos clients pourront mieux se familiariser avec « YOUR GLOBAL CRAFTSMAN STUDIO »,

leur « studio personnel d'usinage » et faire avec nous de « DIAEDGE » la meilleure marque mondiale de produits en métaux durs. Par ailleurs, nous nous efforçons également de stimuler nos services commerciaux avec le slogan, « Ne proposons pas seulement des produits, mais également des services avec la qualité DIAEDGE ! »

Sans cesse animé d'une « motivation élevée » et d'un « sens de la réactivité », l'ensemble de notre personnel travaille d'arrache-pied pour que tous nos services répondent aux attentes de nos clients. Nous vous invitons, par conséquent, à mettre nos techniques, nos produits, et nos ressources humaines à contribution pour votre réussite commerciale.

Shinichi Nakamura  
Vice-président  
Advanced Materials & Tools Company  
Directeur général commercial  
Mitsubishi Materials Corporation



**YOUR GLOBAL CRAFTSMAN STUDIO**

# LUMIÈRES sur le MARCHÉ L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE



AIRBUS A320neo, mis en service en 2016

BOEING 737 MAX, mise en service en 2017

## Rivaliser mondialement dans le ciel

Apparition successive de nouveaux appareils plus soucieux de l'environnement et des usagers

### Développement soutenu par une demande colossale

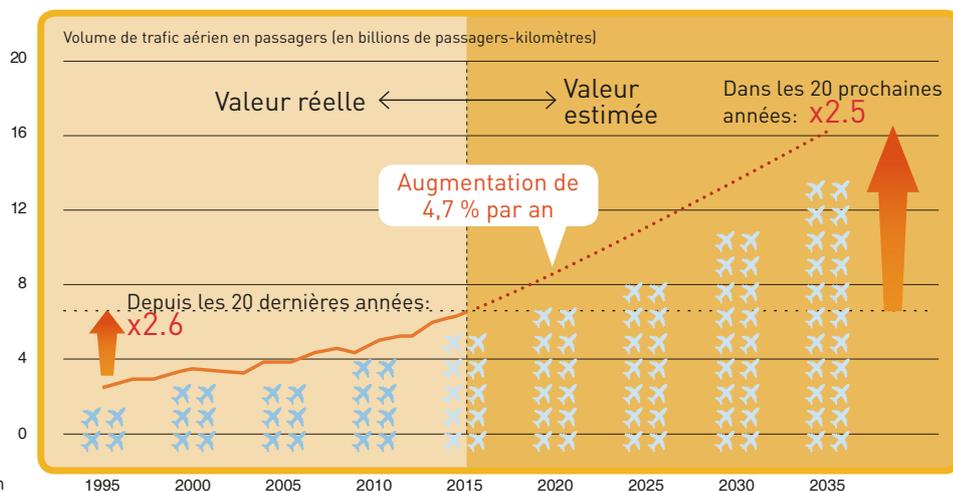
La demande de transport aérien de passagers (volume du trafic aérien en passagers) connaît une croissance annuelle d'environ 5 % par an qui devrait se poursuivre dans les années à venir, en particulier dans les pays émergents. Si l'on considère le nombre total de commandes d'avions des deux principaux acteurs du marché (AIRBUS (UE) et BOEING (US), ces entreprises se partageaient, à la fin 2016, plus de 85 % du marché. La demande en petits porteurs (environ 150 places avec un couloir central)

est très élevée dans les pays à forte population tels que la Chine ou l'Inde, pour leurs lignes aériennes de court et moyen-courriers. Ces deux entreprises majeures produisent et livrent un total d'environ 1000 appareils de ce type par an. Par ailleurs, la compétition pour obtenir l'hégémonie du ciel dans le segment de marché des avions de transport régional à réaction d'environ 100 places, dominé par les entreprises EMBRAER (Brésil) et BOMBARDIER (Canada) est en train de s'intensifier avec

l'arrivée de trois autres constructeurs, le russe SUKOH, le chinois COMAC et enfin le japonais MITSUBISHI. D'autre part, les avions construits et mis en service au 21e siècle sont désormais pourvus de nouveaux réacteurs à faible niveau sonore et à faible consommation de carburant, plus soucieux de l'environnement et des usagers. Ainsi, il va sans dire que le secteur de l'aéronautique devrait s'accélérer et, par conséquent, l'usinage qui l'accompagne, va devoir se renouveler et constamment évoluer.

La demande mondiale d'avions de ligne connaît une croissance annuelle de 5 %

Source: Japan Aircraft Development Corporation

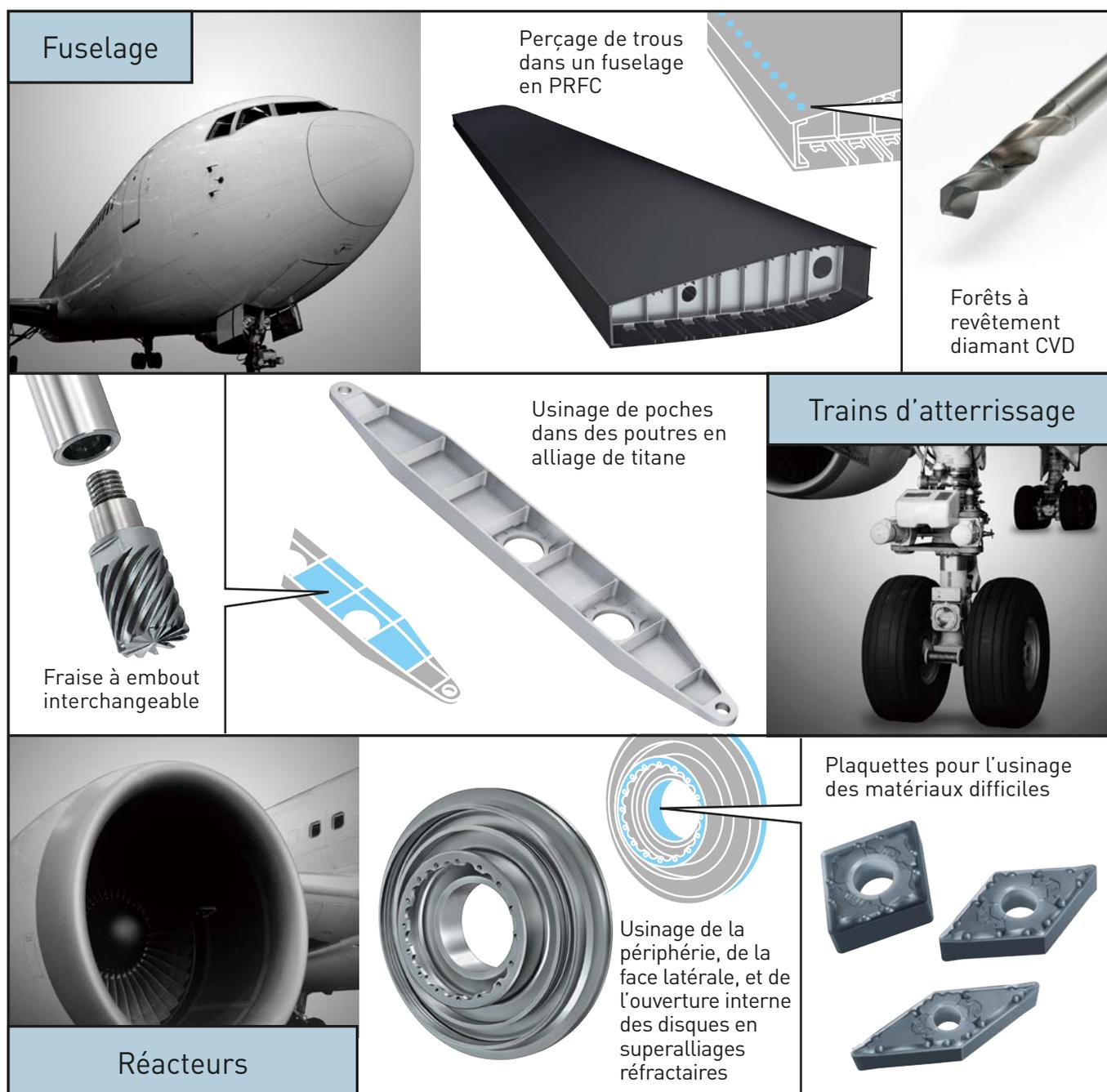


# Les fabricants d'outils coupants liés à l'évolution constante des nouveaux matériaux utilisés dans l'aéronautique

Face à l'augmentation de la production d'avion de ligne entraînée par la hausse de la demande du trafic de passagers, l'amélioration de la productivité dans les ateliers d'usinage constitue un enjeu d'urgence pour les fabricants de pièces du secteur aéronautique. Sur les quelque trois millions de pièces

nécessaires à la fabrication d'un avion de ligne, la fabrication du fuselage ou des trains d'atterrissage nécessite des matériaux toujours plus légers, plus solides et plus résistants à la corrosion, et les réacteurs ont besoin de matériaux toujours plus résistants aux hautes températures et aux hautes pressions,

afin d'améliorer leur rendement énergétique. Depuis quelques années, les matériaux aéronautiques comme les superalliages réfractaires, les alliages de titane, ou d'aluminium, les composites tels que les PRFC connaissent une évolution remarquable. Ces nouveaux matériaux sont tous sans exception difficiles à usiner et font l'objet de recherches incessantes de la part des fabricants d'outils en coopération avec les constructeurs d'avions et les fabricants de machines-outils, afin de permettre un usinage productif, de qualité et précis.



Dossier  
spécial

Rivaliser mondialement  
dans le ciel

## LUMIÈRES sur le MARCHÉ L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE

# LE RÉSEAU MITSUBISHI MATERIALS

## ŒUVRE POUR L'AÉRONAUTIQUE

Soutenu par les commandes incessantes des compagnies aériennes du monde entier, le secteur privé de l'aéronautique est en plein essor. Pour proposer à sa clientèle des produits et des services toujours plus spécialisés et de haute qualité, Mitsubishi Materials a mis en place à l'automne 2016

un Département Aéronautique. Ce département, basé au Japon, a été doté d'un personnel spécialisé détaché en Europe et aux États-Unis et a été structuré de manière à pouvoir s'adapter rapidement et précisément aux demandes de la clientèle. Par ailleurs, le département maintient

des liens étroits avec les six centres techniques de la société au Japon, en Europe et aux États-Unis, avec les universités et instituts de recherches dans le domaine de la construction des avions, afin de s'investir encore davantage dans la création de nouvelles technologies d'usinage révolutionnaires.

### EUROPE

## Une approche du secteur de l'aéronautique par un travail d'équipe au-delà des frontières

Mitsubishi Materials dispose de bureaux commerciaux dans divers pays d'Europe, en Russie et en Turquie, et dispose d'un centre technique (M-VEC) et d'un centre de production d'outils d'usinage en Espagne. Son équipe aéronautique pour l'Europe est gérée par MMC HARTMETALL GmbH (Allemagne), qui est également responsable de la stratégie commerciale, entretient des contacts permanents avec le personnel technique détaché en Angleterre, en France, en Italie, en Espagne, etc., afin de proposer aux fabricants aéronautiques les solutions les plus innovantes.

Par ailleurs, en 2014, l'entreprise a rejoint l'Advanced Manufacturing Research Centre (AMRC)/Centre de recherche industrielle de pointe implanté au Royaume-Uni. De nombreux fabricants de l'industrie aéronautique participent à l'AMRC dont le rôle est le développement, la recherche et l'expérimentation des nouvelles générations de techniques de fabrication. MMC y a acquis une solide réputation dans divers projets. D'autre part, MMC participe également régulièrement au Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace de Paris-Le Bourget (France) et au Salon aéronautique de Farnborough (Angleterre), organisés alternativement tous les deux ans et qui constituent les plus importants rendez-vous internationaux de l'aéronautique.



Akira Osada, PhD  
Directeur du Département Aéronautique  
MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION  
ADVANCED MATERIALS & TOOLS COMPANY

## Les solutions MITSUBISHI MATERIALS

MMC a mis en place son Département Aéronautique afin de fournir rapidement les meilleures solutions (produits et services) à chacun de ses clients. Six mois se sont écoulés depuis la création de ce département, et nous pouvons de nouveau constater la hauteur du niveau de spécialisation, de compétence, de qualité et de vitesse exigé par notre clientèle. Nous sommes encore en plein développement, cependant, nous sommes certains qu'en réfléchissant et en résolvant les

problèmes de nos clients du monde entier avec eux, nous réussissons à gagner leur confiance et à faire en sorte qu'ils nous considèrent comme « leur studio personnel d'usinage », et que les solutions proposées par MMC permettront de contribuer au développement de l'industrie aéronautique. Œuvrer dans le ciel, de manière dynamique, partout dans le monde, tel est le défi, avec l'évolution de notre Département Aéronautique dont nous vous proposons de devenir les témoins.

## JAPON

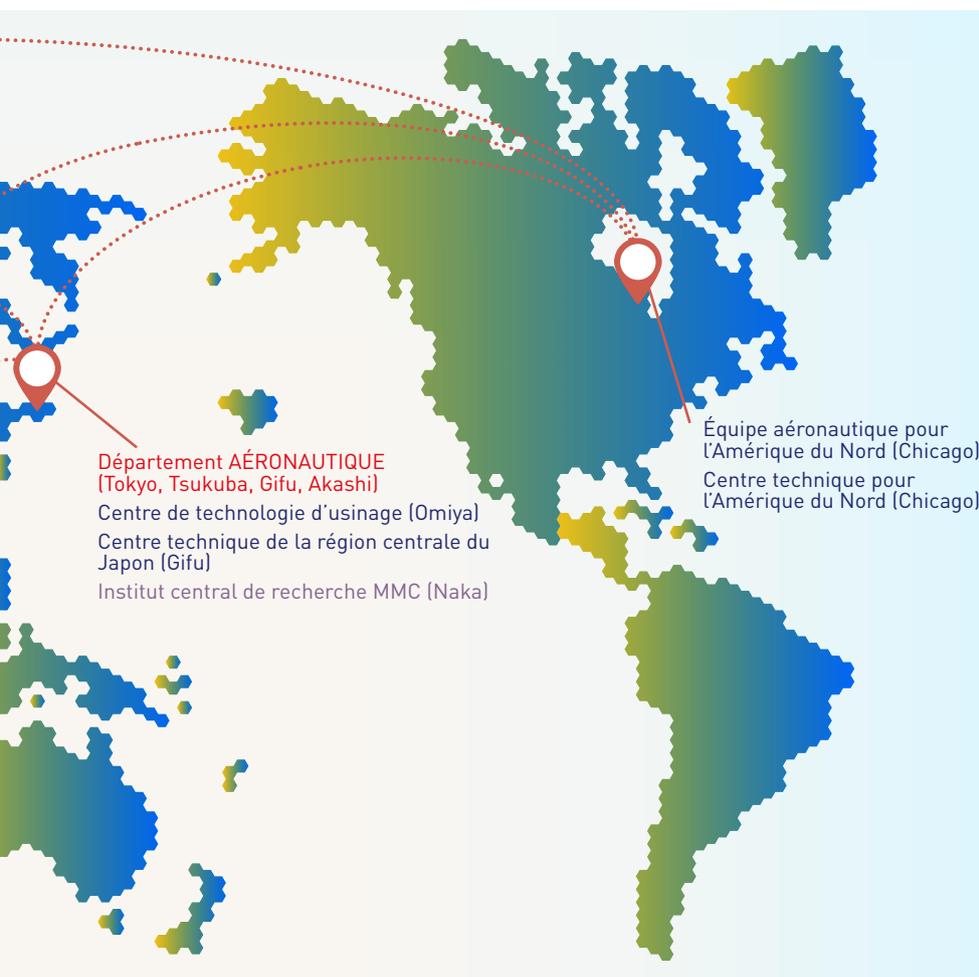
## Un collectif de professionnels à la pointe de l'usinage basé au Japon pour œuvrer à l'international

Le Département Aéronautique est dirigé depuis le siège social de MMC (Tokyo) et dispose d'antennes partout au Japon chargées de s'occuper efficacement des diverses activités indispensables telles que le marketing, le développement, la conception ou les essais, pour répondre rapidement et précisément aux demandes des clients japonais, européens ou américains, mais également aux clients localisés en Asie qui connaît un essor considérable. Le Centre de technologie d'usinage (à Omiya) ainsi que le Centre technique de la région centrale du Japon (à Gifu) qui ouvrira ses portes cette année en juin disposent des équipements les plus récents en matière d'usinage,

tels que des centres d'usinage 5 axes, ou des machines d'usinage multifonctions, ainsi que des instruments de mesure et d'analyse, qui permettent toutes sortes d'essais d'usinage. Leurs personnels entretiennent des contacts étroits avec les centres techniques MMC dispersés dans le monde entier et s'efforcent mutuellement jour après jour de perfectionner leurs compétences techniques.

Par ailleurs, ces centres entretiennent également des liens avec les universités et participent depuis son inauguration en 2013 au CMI (Collaborative Research Center for Manufacturing Innovation), le Centre de recherche collaborative pour l'innovation dans le

domaine de l'usinage, fondé par l'Institut des sciences industrielles de l'Université de Tokyo avec l'aide du ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie japonais. Grâce à sa coopération avec de tels instituts de recherches et avec les fabricants de machines-outils, ou avec son Institut central de recherche (à Naka), MMC poursuit des recherches dans le domaine technique pour créer des outils de coupe originaux et performants. Le Département Aéronautique de MMC va ainsi continuer à œuvrer dans le monde entier avec ses clients internationaux du secteur de l'aéronautique dont il veut devenir le partenaire de confiance indispensable afin de contribuer à améliorer leur productivité.



## U.S.A.

## Faire preuve d'une expertise élevée au pays de l'aéronautique

L'aéronautique est un des secteurs industriels de prédilection des États-Unis. De nombreux fabricants de toute taille, disséminés dans tout le pays forment un marché d'envergure considérable.

MITSUBISHI MATERIALS USA a installé son siège social à Los Angeles, son Département Marketing et son Centre technique (CTC) à Chicago, et dispose de deux centres de production d'outils d'usinage dans les états voisins, pour répondre aux besoins des clients américains.

Ces dernières années, l'équipe aéronautique pour l'Amérique du Nord tire parti de sa grande expertise afin de fournir chaque jour des solutions attrayantes et efficaces pour répondre à l'augmentation constante de la demande en usinage à haut rendement de pièces d'infrastructure de grande taille en alliages de titane ou d'aluminium. Grâce à un large réseau mondial, MMC USA peut répondre depuis l'Amérique du Nord avec rapidité aux demandes des différents centres de production des avionneurs du monde entier. Par ailleurs, MMC USA développe une coopération étroite avec les instituts de recherche spécialisés dans le domaine des nouvelles générations de technologies d'usinage.

Négociations commerciales avec nos clients

Conception des outils

Fabrication des prototypes d'outils

Essais de coupe

Livraison des prototypes d'outils



Dossier spécial

## Rivaliser mondialement dans le ciel

LUMIÈRES sur le MARCHÉ

## L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE

# Naissance d'un centre technique dans la région centrale du Japon axé sur l'industrie aéronautique et l'automobile

Le centre technique de la région centrale du Japon a été construit dans l'enceinte de l'usine de Gifu de Mitsubishi Materials grâce à un investissement total de 1,5 milliard de yens. Nous vous présentons ici cet établissement proposant des solutions attrayantes illustrant le slogan de Mitsubishi Materials «Votre studio personnel d'usinage», comme une académie de la coupe qui fait parler d'elle actuellement, une assistance technique variée, des essais de coupe avec de nombreux acteurs de la machines-outils, l'utilisation de la CAO, FAO, ou la IAO, et bien d'autres.

Mitsubishi Materials dispose de cinq centres techniques dans le monde destinés à apporter une assistance technique à la clientèle : un au Japon, le Centre de technologie d'usinage (dans l'arrondissement d'Ormiya, à Saitama, préfecture de Saitama), les autres situés aux États-Unis, en Espagne, en Chine, et en Thaïlande.

Récemment, l'entreprise a fondé un nouveau centre technique dans la région centrale du Japon (en complément de ses deux centres nationaux de Saitama et de Gifu) qui lui permet d'étendre son système d'assistance clientèle à tout l'ouest du Japon, notamment la région centrale et sa périphérie qui regroupent une importante concentration d'entreprises du secteur de l'aéronautique et de l'automobile.

Le centre de technologie d'usinage d'Ormiya utilise des équipements à la pointe de la technologie et des nouveaux matériaux existants depuis peu pour stimuler de manière proactive le développement avec ses clients d'une nouvelle génération de technologies d'usinage. Par ailleurs, le nouveau centre technique de la région centrale du Japon (Gifu) compte davantage d'installations que le centre d'Ormiya pour en faire un concentré des diverses connaissances et savoir-faire

acquis jusqu'à aujourd'hui, ainsi que des services techniques au service d'une clientèle toujours plus large.

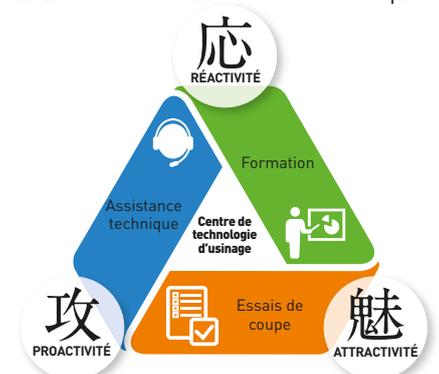
Le centre technique de la région centrale du Japon dispose de centres d'usinage de haute précision, de machines d'usinage multifonctions, de tours automatiques, etc., soit une dizaine de machines d'usinage les plus récentes aux spécifications différentes. Ceci permet d'effectuer des analyses d'IAO et des simulations de FAO dans les conditions d'usinage les plus proches de celles utilisées par les clients dans les ateliers, depuis la forme et les matériaux des pièces réellement découpées jusqu'aux machines d'usinage utilisées par ces derniers. Tout ceci permet non seulement de proposer des méthodes optimales d'usinage pour découper les produits finaux réels, mais également d'effectuer des simulations et des essais d'usinage selon diverses conditions d'usinage en fonction des différents besoins clients et de leur montrer les résultats. Il est également possible de bénéficier d'une aide au développement et à l'outillage de machines-outils spécifiques pour répondre à des besoins plus précis ou pour solutionner des problèmes d'usinage avec des machines-outils standards.

À partir de son Centre de technologie d'usinage et de son centre technique de la région centrale du Japon, ainsi qu'à une coopération étroite avec ses centres techniques à travers le monde, Mitsubishi Materials propose des solutions rapides, partout dans le monde, en adoptant le point de vue de ses clients. D'autre part, Mitsubishi Materials encourage de manière proactive une innovation ouverte avec non seulement ses clients, mais également les universités ou les instituts de recherche, et mène des activités de recherche et de développement pour créer des solutions d'usinage tournées vers l'avenir. En outre, depuis juin 2016,

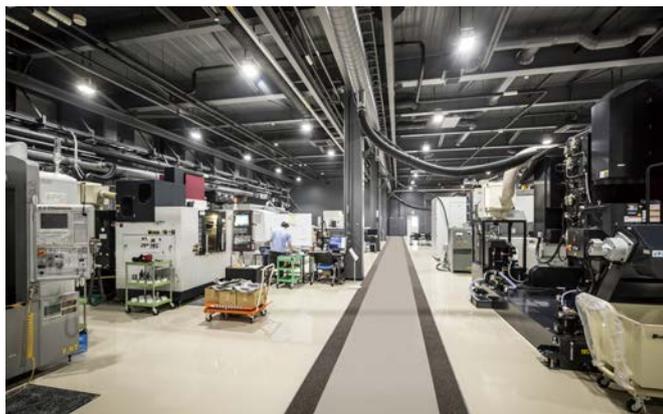
le Centre de technologie d'usinage organise une «Académie de la coupe» dont le but est la transmission de techniques dans une large variété de domaines tels que les fondements et les applications de la théorie de la coupe, la réparation des détériorations des outils, le dépannage, ou l'amélioration des lignes de production en utilisant divers dispositifs de mesure et d'analyse. Ce service sera bientôt également proposé par le Centre technique de la région centrale du Japon pour fournir un lieu de formation et transmettre de manière systématique les techniques d'usinage et les savoir-faire les plus récents aux ingénieurs de sa clientèle.

Mitsubishi Materials souhaite réfléchir, créer et partager de l'émotion avec ses clients tout en proposant à chacun les solutions et services les plus adaptés afin de les accompagner au mieux dans leur réussite commerciale. En tant que professionnel de l'usinage, Mitsubishi Materials va poursuivre sa démarche pour assoir auprès de ses clients sa position de studio personnel d'usinage.

## ■ Les fonctions des centres techniques



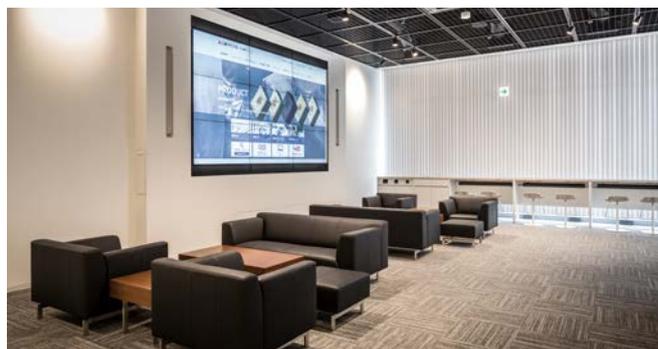
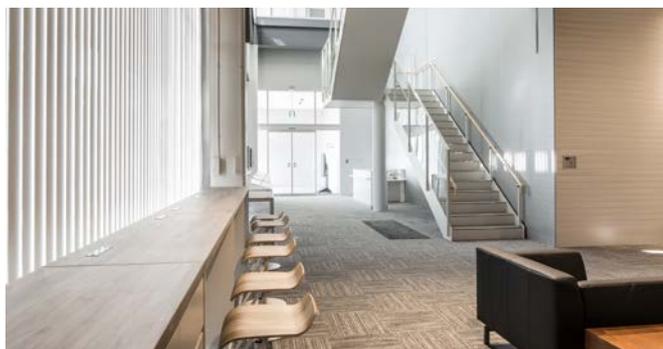
## ATELIER



## SALLE DE SÉMINAIRE



## ENTRÉE / SALLE DE RÉCEPTION



Rivaliser mondialement  
dans le ciel

**ACCENT** SUR LES PERFORMANCES

# IHI Usine n° 2 de Soma

**S'ATTAQUER AU DÉFI DE CRÉER DE NOUVELLES TECHNIQUES DE PRODUCTION POUR CONTRIBUER À LA CROISSANCE DE LA PRODUCTION DES MOTEURS D'AVIONS**

L'usine no 2 de Soma de l'entreprise IHI Corporation produit plus de 3500 types de pièces utilisées dans les moteurs d'avions (disques, disques monobloc, engrenages,...). L'usine dispose de plus de 700 installations qui permettent l'utilisation d'un total de plus de 100000 procédés techniques de fabrication et la production d'une grande variété de produits en petite quantité. Aujourd'hui, nous nous sommes rendus dans des ateliers d'usinage à la pointe de la technologie qui soutiennent l'industrie aéronautique mondiale.

## Être le leader du secteur de la production de moteurs d'avion au Japon

La société IHI Corporation développe ses activités dans les quatre secteurs suivants : «les ressources, l'énergie et l'environnement», «les infrastructures et la marine», «les systèmes de production et les machines», «L'aéronautique, l'espace et la défense». Ses activités dans le secteur de l'aéronautique représentent la production de 60 à 70 % des moteurs d'avions au Japon

et permettent de soutenir le transport aérien au niveau mondial. Elle produit en outre la plupart des moteurs d'avion utilisés par le ministère de la défense japonais dont elle est la principale société contractante. Par ailleurs, elle participe à des activités internationales de développement conjoint de moteurs pour les petits et gros porteurs du secteur privé dont elle développe, fabrique et

fournit les divers modules et pièces. D'autre part, tirant parti du savoir-faire acquis dans le développement et la fabrication des moteurs pour l'appliquer à des activités de maintenance et d'entretien, elle sous-traite l'entretien des avions pour de nombreuses compagnies aériennes hors du Japon auprès desquelles elle jouit d'une solide réputation.

## L'usine n° 2 de Soma dispose d'équipements à la pointe de la technologie

IHI répartit la production des pièces, l'assemblage et l'entretien des moteurs d'avions dans quatre usines : l'usine no 2 de Kure (ville de Kure, préfecture de Hiroshima), l'usine de Mizuho (quartier de Mizuho à Tokyo), l'usine no 1 et l'usine no 2 de Soma (ville de Soma, préfecture de Fukushima).

Parmi elles, les usines de Soma, qui disposent de la plus grande superficie, sont situées à Onodai, dans la ville de Soma, dans une zone de collines à l'intérieur des terres, à 10 km de la côte Pacifique. L'usine no 1 de Soma a été construite en 1998 en tant que quatrième centre de production de

la division aéronautique de l'entreprise pour accueillir une partie des activités de l'usine de Tanashi (ville de Nishi-Tokyo, préfecture de Tokyo) et usine des pièces pour les moteurs d'avion. En 2006, l'usine no 2 de Soma a été construite pour accueillir le reste des activités de l'usine de Tanashi. L'importance de l'espace disponible permet la disposition des câbles électriques et des canalisations d'air comprimé parallèlement aux poutres des charpentes des bâtiments pour les alimenter. Ceci a pour caractéristique de donner une grande liberté quant à la disposition des équipements et permet de s'adapter aux fluctuations de la demande. Dans les ateliers, tout est propre et aucune odeur d'huile de coupe ne flotte dans l'air, offrant, ainsi, aux travailleurs un environnement de travail agréable.





Ryoji TAKAHASHI, Directeur général, Département Ingénierie de production, Construction des moteurs d'Avion de l'usine no 2 de Soma, Secteur Aéronautique, espace & défense



Masayoshi ANDO, Ingénieur, Département Ingénierie de production, Construction des moteurs d'Avion de l'usine no 2 de Soma, Secteur Aéronautique, espace & défense



Hatsuo OKADA, Directeur, Département Ingénierie de production, Construction des moteurs d'Avion de l'usine no 2 de Soma, Secteur Aéronautique, espace & défense

## La subtilité de la fabrication des pièces de moteurs d'avions, L'obstination à créer de nouvelles technologies d'usinage

Si la demande en avion continuait à augmenter de manière stable dans les prochaines années, le besoin en moteurs d'avions soucieux de l'environnement sera lui aussi croissant. Dans ce contexte, de quelle manière considère-t-on leur fabrication à l'usine no 2 de Soma qui en produit de nombreuses pièces, telles que les pièces de turbines à basse pression ? Nous avons interrogé Ryoji TAKAHASHI, Masayoshi ANDO, et Hatsuo OKADA, respectivement directeur général, ingénieur, et directeur du Département Ingénierie de production de cette usine, au sujet des plus récentes technologies d'usinage utilisées.

### Quel est l'atout permettant à votre entreprise de s'assurer une importante part du marché ?

**Takahashi:** Notre entreprise dispose d'une longue expérience et d'un savoir-faire exceptionnel en matière de production des pièces de moteurs et d'assemblage d'avions. En particulier dans le domaine des arbres et des pièces de turbine à basse pression dans lesquels nous sommes fiers d'avoir acquis la confiance des clients. Ces dernières années, la part de notre chiffre d'affaires réalisée avec le secteur privé est devenue la plus importante alors qu'à l'origine, nous avions développé nos activités à partir de contrats avec le ministère de la défense japonais. Par ailleurs, du point de vue des techniques de production, je pense que nous sommes une des rares entreprises à disposer de toutes les technologies et compétences permettant de construire des moteurs d'avion de A à Z.

### Pourriez-vous nous parler de la subtilité de la fabrication des pièces de moteurs d'avion ?

**Takahashi:** Les moteurs d'avion nécessitent l'utilisation de matériaux légers et résistants, c'est-à-dire des matériaux difficiles à usiner. La plupart des pièces de moteurs d'avion nécessitent un usinage avec une précision de l'ordre de 0,01 mm. Pour assurer cette stricte qualité, nous avons mis en place des règles de production contrôlées systématiquement et minutieusement. Dans le domaine du développement des moteurs d'avion, nous

utilisons une riche expérience en matière d'usinage et nous effectuons des évaluations de l'outillage avant de fixer définitivement nos processus de fabrication. Bref, une fois un outil enregistré, son changement en devient compliqué. Toutefois, en tant que fabricant, nous sommes en mesure de revoir un outillage en modifiant le processus de fabrication dans le strict respect des procédures si une amélioration significative de la productivité est envisagée. Difficile d'expliquer verbalement. La modification du processus de fabrication doit tout d'abord passer par une procédure normalisée, avant d'être à nouveau contrôlée, puis approuvée. De ce point de vue, on peut dire que la capacité d'améliorer la précision de l'usinage avant de passer à une production en série, et de mettre en place un processus de fabrication à forte productivité constitue la raison d'être de nos techniques de production.

### Pourriez-vous nous parler de l'usinage actuel des pièces de moteur d'avion ?

**Okada:** Le développement d'avions de nouvelle génération, hautement performants

et notamment à faible consommation de carburant pour allonger leur rayon d'action, est en plein essor ces dernières années. Ce type d'avions nécessite des moteurs constitués de nouveaux matériaux, résistants à de très hautes températures et toujours plus légers.

**Takahashi:** Ainsi, depuis une dizaine d'années les matériaux composites sont de plus en plus utilisés. Pour réduire les coûts de navigation et réduire les émissions de CO2, il est nécessaire avant toute chose d'améliorer la consommation de carburant. C'est pour cette raison que les polymères à renfort fibre de carbone (PRFC) ou les composites à matrice céramique (CMC), à la fois légers et résistants, sont proportionnellement de plus en plus utilisés. Cependant, les métaux utilisés jusqu'alors restent encore nécessaires, et de nouveaux alliages plus résistants sont sans cesse développés. Ces matériaux difficiles à usiner (composites et alliages résistants) reconnus pour leur résistance avérée permettent de réduire l'épaisseur des plaques et de les alléger, réduisant ainsi la consommation de carburant. (rires). Par ailleurs, l'augmentation





(À gauche) Koshiro TERASHIMA, Bureau commercial de Sendai, Division Commerciale, Advanced Materials & Tools Company, Mitsubishi Materials Corporation

à venir de la demande en avions signifie une augmentation de leur circulation dans le ciel, et donc un durcissement des normes vis-à-vis de leur impact sur l'environnement.

**Quel est le rapport entre l'évolution des matériaux et celle des techniques d'usinage ?**

**Takahashi:** L'allègement des matériaux a d'importantes conséquences : ainsi si vous allégez par exemple l'ensemble des pièces en rotation, vous pouvez réduire la solidité des coussinets et autres pièces fixes. L'allègement de tout le moteur améliore considérablement sa consommation, génère potentiellement d'importantes retombées économiques ainsi qu'une réduction de l'impact sur l'environnement, bref cela entraîne une multitude d'avantages. En revanche, l'augmentation de la résistance des matériaux les rend généralement plus difficiles à usiner. Quelles que soient les qualités d'un nouveau matériau, si les techniques permettant son usinage ne suivent pas, vous ne pourrez espérer aucun développement industriel. Sans un haut niveau, non seulement des outils, mais également des techniques d'usinage, cet allègement est impossible à réaliser.

**Ando:** Les matériaux utilisés ces dernières années pour construire les pièces des moteurs d'avion se caractérisent non seulement par leur difficulté d'usinage, mais également par leur coût extrêmement élevé. Pour cette raison, il est capital de mettre au point des techniques d'usinage permettant de sauvegarder les pièces de tout dommage en cas de détérioration des outils au cours de l'usinage. En plus du défi de base de réduire les coûts d'usinage tout en

fournissant des produits de grande qualité, il faut faire en sorte de minimiser tout impact sur les produits en cas de défaillance au cours de l'usinage.

**Okada:** Vu que les matériaux vont continuer à évoluer dans les années à venir, de nouveaux matériaux difficiles à usiner avec les techniques actuelles verront certainement le jour. Même si l'usinage à la coupe subsiste, de nouvelles techniques combinant un usinage au laser ou par décharge électrique se généraliseront peut-être. Les outils d'usinage prendront alors peut-être une forme totalement différente de celle des outils actuels.

**Comment les techniques de production s'adaptent-elles à l'évolution des techniques d'usinage ?**

**Okada:** Pour prendre un exemple récent, nous avons dû améliorer considérablement notre productivité dans la fabrication des disques utilisés dans les moteurs d'avion, suite à l'augmentation de la production de ces derniers pour faire face à l'accroissement de la demande. L'usinage des queues d'aronde (joints servant à fixer les aubes sur les disques), en particulier, était à l'origine effectué par brochage alors que les brocheuses sont extrêmement coûteuses et les délais de livraison relativement longs. Le brochage consistant en une coupe de faible profondeur, il est difficile d'améliorer radicalement sa productivité : nous menions donc des recherches pour essayer de voir s'il n'était pas possible d'établir une méthode de fabrication totalement différente. Nous avons alors commencé par un dégrossissage des

queues d'aronde par fraisage, ce qui nous a pris deux ans pour obtenir quelque chose de satisfaisant. L'avantage d'opter pour un fraisage est que l'approvisionnement en outils est stable et qu'il est aisé de changer leurs formes ou les types de matériaux dont ils sont constitués, mais surtout, comparé à l'usinage par brochage, le fraisage a une bien meilleure productivité. Cependant, le fraisage a également un désavantage. Du point de vue du coût net des outils par nombre de pièces usinées, le brochage est généralement moins coûteux que le fraisage. Bref, le fraisage nécessite une réduction du coût total de l'outillage, sans quoi l'objectif ne pourra être atteint. Pour cela, il était nécessaire d'ajuster la trajectoire des outils utilisés, afin de réduire leur nombre au minimum, et d'allonger au maximum la durée de vie de chaque outil. La modification du processus de fabrication en passant d'un usinage par brochage à un usinage par fraisage a constitué un défi jamais vu qui nous a confrontés à de nombreux obstacles, mais notre jeune personnel a travaillé d'arrachepied pour les surmonter. Lors des premiers essais, nous avons connus des ruptures répétées au point de pousser notre responsable au bord de la crise de nerfs voire de l'abandon. Cependant, grâce à l'aide de Mitsubishi Materials, nous avons persévéré en essayant diverses méthodes d'usinage et en évaluant de nombreux prototypes d'outils. C'est sans aucun doute la ténacité des ingénieurs de nos deux entreprises qui a permis de surmonter ce défi.





## Devenir « le meilleur usineur mondial » et « la meilleure usine au monde »

Fabriquer des moteurs performants implique de poursuivre sans relâche la recherche d'une précision et d'une légèreté toujours plus élevées. L'amélioration de la précision d'usinage des pièces permet de réduire les pertes d'énergie, alors que leur allègement permet d'améliorer la puissance relative des moteurs par rapport à leur poids. Ceci permet également de diminuer leur impact sur l'environnement en réduisant leur consommation, leur niveau sonore et leur niveau d'émission de gaz, mais le facteur décisif de ces améliorations est sans aucun doute l'évolution des matériaux. Cependant, les techniques d'usinage doivent également sans cesse évoluer pour s'adapter à ces matériaux plus résistants à la chaleur, plus solides, et plus légers. Créer sans relâche de nouveaux produits grâce à des techniques d'usinage performantes, telle est la mission de l'usine no 2 de Soma.

Pour terminer, Ryoji TAKAHASHI, le directeur général du Département Ingénierie de production nous a confié ses perspectives d'avenir : «Le développement des moteurs d'avions pour le

secteur privé, qui représente une proportion de plus en plus importante de notre chiffre d'affaires, obéit à un modèle de gestion particulier. Il se caractérise par l'existence de partenariats et de programmes de développement internationaux. Le développement des moteurs d'avion pour le secteur privé nécessite en effet des délais extrêmement longs et des finances considérables, ce qui pousse la plupart des meilleurs acteurs des différents secteurs concernés à lier des partenariats internationaux de développement conjoint. Chaque partenaire prend en charge la part des coûts de développement correspondant à son taux d'investissement afin de répartir les risques. D'autre part, les partenaires établissent entre eux des relations stratégiques à long terme afin de répartir les tâches, telles que la fabrication, la recherche et le développement technique, l'assistance technique, le service après fabrication (pièces détachées, service de maintenance des moteurs) entre les différentes entreprises, en fonction des différents types de pièces. Fort de son savoir-faire lui permettant de fabriquer à peu près la totalité des

pièces composant les moteurs d'avions, IHI fait en sorte, lors des négociations avec ses partenaires, d'obtenir la prise en charge des pièces de turbines, des arbres, des pièces de compresseurs, et des pièces de soufflantes. En faisant de la fabrication de ces pièces nos activités de prédilection, nous sommes en mesure d'affronter la concurrence mondiale. Dorénavant, nous allons continuer à développer nos techniques de fabrication, y compris d'usinage, ainsi que nos techniques de contrôle de la qualité, avec l'ambition de devenir "la meilleure usine au monde", et allons continuer à affiner nos capacités de fabrication à un niveau mondial. Je suis particulièrement excité à l'idée qu'un jour, ceci permettra la construction d'avions privés dotés de moteurs IHI et entièrement construits au Japon. Il s'agit d'un rêve partagé à mon avis par toutes les personnes impliquées dans la fabrication et le développement des avions au Japon». Le défi de l'usine IHI no 2 de Soma de se hisser au premier rang mondial et de conquérir le ciel mondial depuis Soma ne fait que commencer.



# IL ÉTAIT UNE FOIS, MITSUBISHI

Vol. **5**

Le berceau de l'usinage au Japon, au cœur de Tokyo

## L'usine de Tokyo

À l'origine, en 1931, les activités d'usinage ont débuté avec la commercialisation d'outils en métaux durs tels que «Tridia». La naissance de ces activités et leur histoire se sont principalement déroulées dans l'usine de Tokyo. Rare pour l'époque, cette usine se trouvait au centre de Tokyo. Le site, témoin du cours mouvementé de l'histoire, de la période d'avant et d'après guerre, en passant par la période de croissance économique accélérée, et par l'éclatement de la bulle financière, a contribué à la construction des fondations des fabricants de métaux durs du Japon.

### Le début de la fabrication d'alliages en métaux durs

Aujourd'hui, le parc «Shinagawa Chuo Koen» se trouve à quelques minutes à pied de la gare Shimoshinmei (ligne Tokyu Oimachi) où résonnent les voix d'enfants s'égaillant joyeusement. C'est ici où s'élèvent aujourd'hui de nombreux gratte-ciels en plein cœur de Tokyo, que tournait, il y a 25 ans, l'usine de Tokyo. C'est aussi ici que naissait Mitsubishi, une centaine d'années plus tôt, avec l'usinage de métaux durs au Japon. Son histoire commence en 1916. Koyata IWASAKI (1879-1945), nommé depuis peu à la tête de la société en commandite Mitsubishi, fut à l'initiative de la construction de l'«Institut de Recherche Minier du Département des Opérations de la société en commandite Mitsubishi (actuel Institut Central de Recherche de Mitsubishi Materials)». Il constituait alors le premier institut de recherche appartenant à une entreprise privée. L'institut s'attaqua très tôt à des recherches sur le tungstène, puis en 1923 sur les matériaux durs. En 1926, la société allemande Krupp lança le premier outil en métal dur «Widia» au monde. Les capacités de coupe extraordinaires de ce métal déclenchèrent une accélération des recherches sur les alliages de métaux durs dans le monde entier, et alors qu'en 1927, les chercheurs de

l'Institut de Recherche effectuaient un séjour d'étude en Allemagne, eux aussi éprouvèrent un choc devant la démonstration des capacités du «Widia». Convaincue de l'avenir des métaux durs, l'entreprise Mitsubishi décida d'accélérer les recherches sur les alliages en métaux durs à l'Institut Central de Recherche. Cependant, à cette époque, les recherches sur les métaux durs étaient confrontées à de nombreux problèmes, et mirent beaucoup de temps avant de porter leurs fruits. C'est en 1931, 8 ans après le lancement de ces recherches, que les phases de productions puis de commercialisation d'un produit baptisé «Tridia» aboutirent. finalement. À l'époque, l'ensemble de l'Institut de Recherche Minier devait être déplacé dans la ville d'Omiya. Seules les activités de développement des métaux durs venant d'obtenir des résultats positifs furent conservées sur place, sous le nom de «Succursale d'Oi».

### À travers les vicissitudes de la guerre

À partir de l'éclatement de la Seconde Guerre mondiale en 1939, l'impact de la guerre gagna en ampleur jour après jour. À l'époque, l'usine de la succursale s'efforçait de continuer sa production grâce à l'augmentation de la demande militaire en plaquettes de coupe ou en stellite, malgré la mobilisation successive des employés.

En 1943, la production de plaquettes de coupe dépassant une tonne par mois, et celle de stellite, trois tonnes par mois, la succursale prit son indépendance de l'Institut de Recherche Minier sous le nom d'«Usine de métallurgie de Tokyo». Lorsque le bombardement de Tokyo commença, l'usine fut désignée comme l'une des principales usines du pays. En 1944, l'usine subit les ravages de la guerre, mais ses employés réussirent à protéger les installations du pire. Après la fin de la guerre, l'usine fut désignée comme compensation matérielle, risquant ainsi la confiscation, mais les efforts acharnés du personnel de la direction permirent de faire annuler cette désignation. Après toutes ces vicissitudes, l'usine réussit finalement à relancer sa production. Cependant, la production de métaux durs qui avait été lancée de manière prometteuse avant la guerre, confrontée à l'évolution des temps, avait du mal à trouver des débouchés commerciaux et la situation financière de l'usine s'aggrava. La direction proposa une réduction partielle de l'usine et du personnel, mais le syndicat ouvrier s'y opposa en déclarant que «si un seul employé était touché par une réduction partielle ou un renvoi, c'est toute l'usine qui serait fermée». Finalement, le 31 octobre 1948, la quasi-totalité des employés choisit de démissionner. Cependant, ils firent le choix de permettre à un nombre de personnel



L'Institut de Recherche Minier à l'époque de sa fondation. Les recherches sur les métaux durs ont commencé dans ce bâtiment.



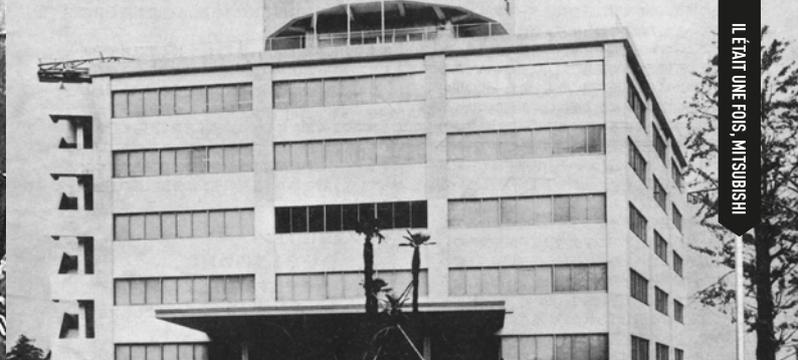
L'usine de Tokyo au moment de la croissance économique accélérée du Japon (vers 1960)



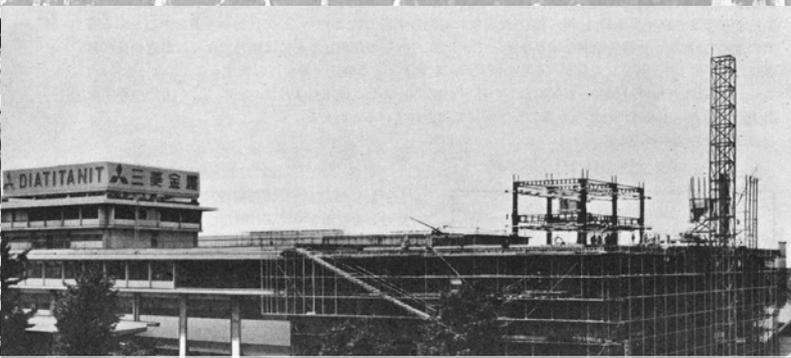
L'usine de Tokyo, avant sa délocalisation pour devenir l'usine de Tsukuba (vers 1986)



Photo commémorative prise en 1937



Construction d'un nouveau bâtiment de cinq étages pour permettre l'augmentation de la production



L'usine de Tokyo a connu de multiples travaux d'agrandissement



Travail de conception assistée par ordinateur



Travail de conception des outils



Le site de l'usine accueillie aujourd'hui le parc « Shinagawa Chuo Koen »

minimum de rester à l'usine pour maintenir les ateliers et les techniques, avec la certitude que «l'usine pourra rouvrir un jour avec tout son personnel». À l'époque, l'usine s'efforce de se relever progressivement grâce au développement d'outils de perçage pour l'industrie minière occidentale. Par chance, ce désir se réalise rapidement et au mois de décembre de la même année, l'usine rouvre ses portes. Les employés ayant choisi de démissionner sont réembauchés immédiatement et tous ensemble travaillent d'arrache-pied pour redresser l'usine.

### La vague de la période de croissance économique accélérée et le choc de l'éclatement de la bulle financière

En 1952, l'usine est rebaptisée « Usine Mitsubishi de métallurgie minière d'Oï ». En 1955, alors que commence la période de croissance économique accélérée du Japon, l'usine enregistre ses premiers bénéfices depuis la fin de la guerre. Elle augmente progressivement sa production pour atteindre le plus important niveau de bénéfice de toute l'entreprise pendant trois semestres consécutifs entre le premier semestre de 1967 et le premier semestre de l'année suivante, réussissant ainsi à devenir la clef de voute de toute l'entreprise. En 1969, jugeant que «s'il est possible de devenir numéro un au Japon en étant

à Oï, il n'est cependant pas possible d'y devenir numéro un mondial», une nouvelle usine est fondée à Gifu. En 1970, l'usine d'Oï est rebaptisée «Usine Mitsubishi de métallurgie de Tokyo». 35 ans se sont écoulés depuis la création du «Tridia», et cette année marque le lancement des activités de production de métaux durs de l'entreprise au niveau mondial.

### L'héritage toujours vivant de l'usine de Tokyo

Si la production de métaux durs de l'usine Mitsubishi de métallurgie minière d'Oï, devenue l'usine Mitsubishi de métallurgie de Tokyo, connaît un essor extraordinaire, la croissance économique accélérée du Japon se révèle, néanmoins, un ennemi redoutable. En effet, rapidement l'usine n'arrive plus à répondre à la demande toujours plus croissante et les capacités de son service commercial et celles de développement commencent alors à décliner. L'usine étant localisée dans la zone urbaine de Tokyo, il est difficile d'agrandir ses bâtiments, et il n'est pas possible d'un point de vue socio-économique d'augmenter les effectifs et les activités en restant là indéfiniment. Pour sortir de cette impasse, une délocalisation de l'usine de Tokyo à Ishige (actuelle ville de Josô), dans le canton de Yui, dans la proche banlieue de la ville

universitaire de Tsukuba (préfecture d'Ibaraki) est proposée. Finalement la délocalisation de l'usine et son changement de nom en «Usine de Tsukuba» ont officiellement lieu en mars 1992. C'est ainsi que se clôt l'histoire de l'usine de Tokyo. «L'esprit de défi» et «l'esprit d'indépendance et d'autonomie» chers à cette usine de Tokyo a permis de surmonter les aléas d'une histoire mouvementée depuis l'avant-guerre jusqu'à nos jours, et constituent un héritage toujours vivant. Cet héritage est aujourd'hui perpétué par l'ensemble des employés de l'usine de Tsukuba et l'ensemble des employés de l'entreprise. Cet héritage centenaire sera ainsi perpétué pour un nouveau centenaire, et ainsi de suite. C'est ainsi que nous continuerons à progresser pour prendre un nouvel essor.



L'usine de Tokyo

---

# UN POINT SUR LA TECHNOLOGIE

---



# TORAY

## Un demi-siècle d'histoire des PRFC, des matériaux qui ont changé le monde

---

Le jour où des  
avions noirs  
sillonneront le ciel

Plus légers que l'aluminium, plus solides que l'acier, les PRFC (PRFC : Plastiques à renfort de Fibre de Carbone) sont de nouveaux matériaux. Ils contribuent au soutien de la fabrication des nouvelles générations de produits manufacturiers et sont généralement utilisés dans la fabrication des structures principales des avions de ligne à réaction, moyens porteurs du secteur privé. Au Japon, la recherche dans le domaine des fibres de carbone (principal composant des PRFC) a commencé dans les années 60. Nous avons interrogé Shunsaku Noda et Hiroshi Taiko, respectivement Directeur général, et Directeur général adjoint de la Section aéronautique du Département de technologie des matériaux composites de pointe de la société TORAY.

---

## UN POINT SUR LA TECHNOLOGIE

## ZOOM

## Les PRFC

Les PRFC sont des matériaux composites constitués de fibres de carbone et de résine. Cette composition leur donne des caractéristiques impossibles à obtenir avec des matériaux individuels et leur a donné l'appellation de « matériaux composites ». Le TORAYCA®Prepeg est, par exemple, constitué de faisceaux composés de 24 000 fibres de carbone de 7 µm d'épaisseur disposés en feuillets imprégnés de résine thermosable telle que la résine époxyde. La superposition et la rigidification de ces feuillets permettent de bénéficier de la solidité élevée et de l'élasticité des fibres de carbone.

Les PRFC se caractérisant par une importante variation de leurs performances en fonction de la quantité de fibres de carbone utilisée, de leur disposition (direction des fibres, composition des couches de prépeg), leur conception est adaptée à l'utilisation envisagée et des performances attendues.

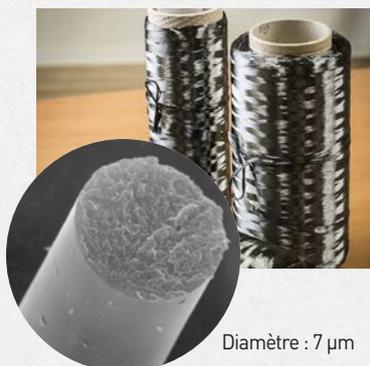
**Pour une densité de 1,7, ils sont environ 4 fois plus légers que l'acier**

- Pour une densité de 1,7 fois, ils sont environ 4 fois plus légers que l'acier.
- Leur résistance maximale à la traction avec des fibres à haute résistance est d'environ 7 GPa.
- Leur module d'Young maximal en traction avec des fibres à haut module d'élasticité est d'environ 630 GPa.
- Ils disposent de nombreux avantages comme, par exemples, une bonne stabilité dimensionnelle, un bon amortissement des vibrations, une forte conductivité thermique, un amagnétisme, une résistance à la corrosion, ainsi qu'une forte résistance à la fatigue.

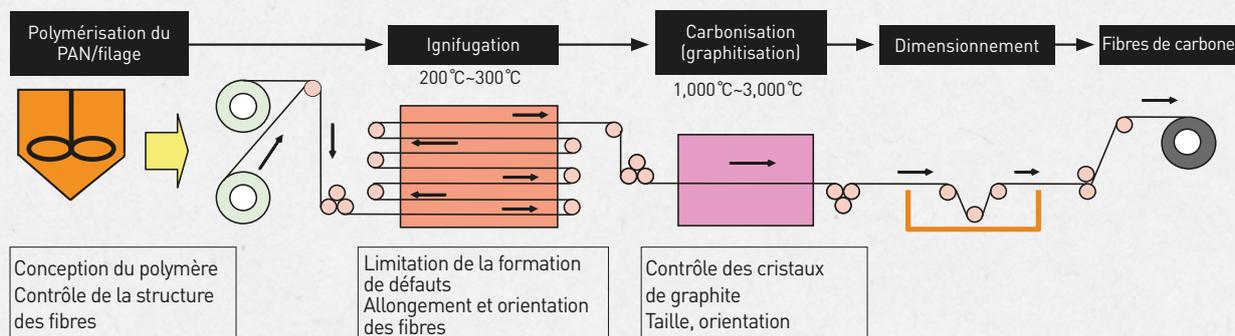
**Processus de fabrication des fibres de carbone**

Le processus de fabrication des fibres de carbone à base de PAN suit les quatre étapes suivantes :

- 1) Polymérisation du PAN, puis passage dans une fileuse pour en faire des fibres.
- 2) Traitement thermique des fibres obtenues pour les rendre ignifugées (acidification).
- 3) Nouveau traitement thermique pour les carboniser.
- 4) Traitement de surface final permettant d'obtenir les fibres de carbone.



Diamètre : 7 µm

**Processus de fabrication et techniques de production utilisés pour repousser les limites de PRFC**

## Étape 1 1950 ~

## La naissance et le début de la recherche et du développement des fibres de carbone

Les origines des fibres de carbone remontent à la fin du 19<sup>e</sup> siècle et à l'invention de l'ampoule électrique par Thomas Edison et Joseph Swan. Ces premières ampoules utilisaient des filaments de bambou carbonisés, alors les premières fibres de carbone au monde. Ensuite, les fibres de carbone ont été remplacées par des filaments en tungstène, et ont progressivement été oubliées. Leur existence n'a recommencé à attirer l'attention qu'un demi-siècle plus tard, dans les années 50. Les fibres de carbone étant un matériau idéal pour construire les tuyères de fusées qui nécessitent une résistance à la chaleur élevée, des recherches furent lancées d'urgence aux États-Unis pour les développer.

En revanche au Japon, il faut attendre 1959, avec l'invention d'un processus de fabrication des fibres de carbone à partir de la carbonisation de fibres de PAN (polyacrylonitrile) par le docteur Akio Shindo de l'Institut de recherche industrielle d'Osaka. À partir de là, la recherche et le développement dans le domaine des fibres de carbone, ainsi que leur commercialisation se sont développés au Japon. Les fibres de carbone se caractérisant par une solidité élevée, elles constituaient une matière hautement performante idéale pour entrer dans la composition des matériaux composites. En 1967, le constructeur de moteurs d'avion mondialement connu, Rolls Royce, adoptait des PRFC pour ses réacteurs.

À la même époque, TORAY lançait le développement de fibres de carbone utilisant des fibres acryliques « TORAYLON », puis acquérait en 1970 les droits d'utilisation du brevet détenu par le docteur Shindo. En règle générale, les entreprises privées gèrent leurs affaires en faisant des estimations du potentiel de commercialisation de leurs produits et de leur chiffre d'affaires. Persuadée de l'avenir prometteur de ces nouveaux matériaux, TORAY a jugé que la mise en place d'un système de production de PRFC fabriqués à partir de fibres de carbone constituait une priorité et a pris la décision audacieuse pour l'époque d'investir dans ce domaine.

## UN POINT SUR LA TECHNOLOGIE

2

1971 ~

## Lancement de la production de PRFC malgré une utilité non encore définie

L'année suivante, en 1971, TORAY lançait la fabrication et la commercialisation de fibres de carbone haute résistance à base de PAN, le « TORAYCA® T300 ». Bien que les fibres de carbone aient commencé à faire parler d'elles en tant que nouveau matériau d'avenir, leur utilité n'était pas encore vraiment clairement définie. De plus, TORAY avait déjà décidé de construire une nouvelle usine dotée des plus importantes capacités de production au monde pour l'époque, soit 12 tonnes par an. Cette résolution audacieuse de la direction de l'entreprise était portée par la conviction que « les choses réellement substantielles finissent un jour ou l'autre par être reconnues et appréciées ». Les membres de la direction partageaient également le rêve de voir « un jour des avions noirs (construits avec des PRFC utilisant des fibres de carbone noires) sillonner le ciel ». Simultanément, Rolls Royce connaissait de grandes difficultés dans le développement d'un moteur à réaction en PRFC.

En ce qui concerne TORAY, les premiers produits utilisant des fibres de carbone commercialisés en 1972 étaient des cannes à pêche à la truite ayu. La légèreté de ces cannes à pêche comparée à celle des cannes ordinaires deux fois plus lourdes, et la maniabilité qui en découlait leur permirent de connaître un franc succès sur le marché malgré leur prix élevé. Par ailleurs, la même année, le golfeur professionnel Gay Brewer remportait le tournoi des Masters avec un club de golf dont le shaft noir était en PRFC. Ceci permit de rapidement faire connaître les PRFC et de nombreux golfeurs se précipitèrent pour acheter ce type de clubs. Les PRFC commencèrent aussi à être utilisés dans la fabrication des raquettes de tennis. Ces matériaux étaient principalement destinés à l'usage sportif ou de loisir et leur distribution ne représentait encore qu'un faible volume malgré leur utilisation dans la fabrication de produits industriels ordinaires.

C'est dans ce contexte qu'en 1975, les PRFC connurent un tournant important. Le choc pétrolier de 1973 fit de l'allègement des fuselages d'avion le plus important enjeu à résoudre par les constructeurs d'avion pour réduire la consommation de carburant des avions, et entraîna l'adoption des PRFC comme matériaux pour les structures secondaires qui impliquaient moins de risques du point de vue de la sécurité en vol. L'espoir caressé par TORAY de voir « l'adoption des PRFC comme matériaux de construction des avions » était enfin exaucé. Par la suite, l'adoption successive des PRFC par BOEING puis AIRBUS pour construire leurs avions permit en 1988 de dépasser une production cumulée de 10 000 tonnes de fibres de carbone TORAYCA®. À l'époque, la plupart des fabricants de matériaux anglais ou américains estimaient que la production des PRFC n'était pas rentable, et se retiraient les uns après les autres de ce marché. En revanche, les entreprises japonaises, et en particulier TORAY qui visaient une pérennisation technologique à long terme continuèrent leurs recherches pour développer et fabriquer des PRFC utilisant des fibres de carbone à haute performance, pour finalement aboutir en 2010 à la détention par le Japon d'environ 70 % des parts du marché mondial des fabricants de fibre de carbone.

3

1990 ~

## Généralisation de l'adoption des PRFC comme matériau composant la structure des avions

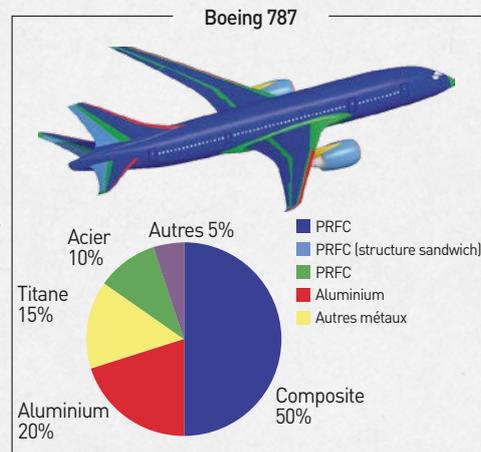
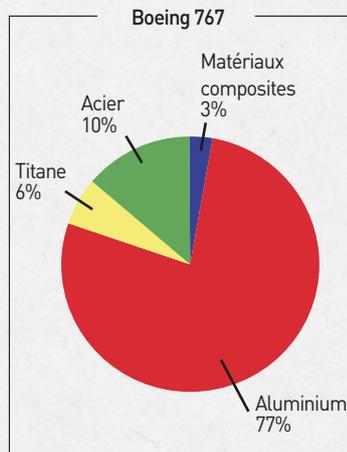
En 1990, l'adoption par BOEING de TORAYCA®PREPREG (PRFC en feuillets) fabriqué à partir d'une combinaison de fibres de carbone et de résine époxyde comme matériau de composition de la structure principale du fuselage de ses avions

(structures affectant directement la sécurité en vol) permit de donner aux PRFC leurs lettres de noblesse en démontrant qu'il s'agissait de matériaux extrêmement fiables aux performances élevées. Les caractéristiques et principaux avantages des

matériaux composites que sont les PRFC combinant des fibres de carbone et de la résine sont leur légèreté, quatre fois plus importante que celle de l'acier, leur résistance à la fatigue qui leur permet de supporter des tensions dix fois plus importantes que l'acier, ainsi que leur plasticité qui leur permet de prendre toutes sortes de formes.

L'adoption des PRFC pour constituer 50 % de la masse des structures principales des avions, telles que le fuselage ou les ailes dans le projet BOEING 787 lancé en 2003 a permis d'en faire des matériaux incontournables. En 2006, TORAY et BOEING ont signé un accord d'approvisionnement en PRFC, afin de fournir des matériaux structurels primaires jusqu'en 2021.

	Boeing 767	Boeing 787
Fuselage	Aluminium	PRFC
Ailes	Aluminium	PRFC
Empennages	Aluminium	PRFC
Volets	PRFC	PRFC



4

2010 ~

## Généralisation de l'utilisation industrielle et croissance rapide des PRFC

À partir des années 2010, la demande mondiale en PRFC a fait un bond. Les PRFC commencent, alors, à être utilisés dans divers usages industriels autres que les équipements sportifs ou les avions, tels que les pales d'éoliennes, les toits, capots, arbres de transmission et dans l'automobile, les réservoirs des voitures au gaz naturel ou des voitures à pile à combustible, les fourches des robots de manutention des panneaux à cristaux liquides, les carrosseries de trains à grande vitesse, les boîtiers d'ordinateurs, etc.

Le développement des fibres de carbone et des matériaux composites font partie des axes stratégiques de TORAY.

TORAY a principalement investi ses ressources en anticipant la croissance de leur demande par les secteurs industriels en pleine expansion tels que l'automobile, l'aéronautique, ou les énergies nouvelles. En 2020, TORAY envisage de nouveaux investissements en Amérique du Nord, et projette d'y élargir ses activités.

D'un point de vue technique, la résistance des fibres de carbone n'atteint actuellement qu'un dixième de sa valeur théorique, et il reste ainsi encore de la marge pour l'améliorer. De plus, le prix élevé des fibres de carbone limite leur pénétration sur le marché. Cependant, leur adoption pour la construction des éléments des automobiles devrait augmenter, ce qui permettrait de réduire les coûts de production par un effet de série, ainsi, il y a de grandes chances que leur demande augmente considérablement à l'avenir.

Cette année constitue la 46e année depuis le lancement mondial de la production commerciale

de fibre de carbone par TORAY. Mais, tout au long de ces années, quelle fut la motivation à cette ténacité permettant de conquérir ce marché ? La réponse est sans aucun doute la politique entrepreneuriale et la culture d'entreprise de TORAY de « continuité à très long-terme » née, on peut le dire, du rêve caressé par la direction de voir « un jour des avions noirs, construits avec des PRFC, sillonner le ciel ». Ces PRFC dont la genèse a été parsemée de nombreux obstacles vont encore continuer à évoluer en tant que matériaux ultras performants à la pointe de la technologie, pour soutenir les industries du monde entier.



### Évolution de la demande en fibres de carbone

(1,000 Tonnes/an)



## Regard sur l'histoire des PRFC

**Noda:** « L'intérêt de travailler dans le domaine des matériaux réside dans le fait que les produits développés peuvent améliorer le monde, en contribuant par exemple à la réduction de la consommation de carburant des avions. Les PRFC, développés durant ces années grâce aux efforts incessants de nos prédécesseurs chez TORAY, constituent aujourd'hui une de nos activités stratégiques de développement. Je pense que notre rôle est désormais de développer encore davantage ces activités. Comparé à la maturité des matériaux métalliques, on peut dire que les matériaux composites à base de fibres de carbone ont encore devant eux un développement potentiel important, que ce soit du point de vue de leur diversité, du volume de leur production ou de leurs domaines d'utilisation. Je crois ainsi à leur infini potentiel et

j'espère pouvoir contribuer avec ces matériaux à changer positivement le monde. »

**Taiko:** « J'adore les avions depuis l'enfance, c'est sans doute pour cette raison que je travaille dans un domaine lié à l'aéronautique et aux fusées. Le plus grand rêve, pour quelqu'un qui travaille dans la recherche et le développement dans ce domaine, est de pouvoir voyager dans un avion fabriqué avec les matériaux qu'il a lui-même conçus. Les PRFC utilisés pour la construction du BOEING 787 ont avant tout été conçus par mes prédécesseurs, et je n'ai donc eu aucun rôle direct à ce sujet. J'espère pouvoir voyager dans un avion construit avec les matériaux que j'aurais inventé d'ici une dizaine d'années. Je travaille, ainsi, chaque jour d'arrache-pied afin de concrétiser mon rêve. »



Shunsaku Noda (à gauche) et Hiroshi Taiko (à droite), respectivement Directeur général et Directeur général adjoint de la Section aéronautique du Département de technologie des matériaux composites de la société TORAY



# UN ARTISAN DERRIÈRE CHAQUE CRÉATION

Vol.6

Kazuya Yanagida:  
Membre du Groupe Aéro de Gifu du  
Département Aéronautique depuis 1997

Tadashi Yamamoto:  
Membre du Groupe Aéro de Gifu du  
Département Aéronautique depuis 2008

## « LA GAMME de forets MC »

### Le défi des nouveaux matériaux

Les PRFC, dont le taux d'utilisation croît dans la construction des fuselages et ailes d'avion depuis la mise en service du BOEING 787 en 2011, sont des nouveaux matériaux composés de fibres de carbone et de résine qui diffèrent des métaux ordinaires.

Nous avons interrogé des membres du Groupe Aéronautique de Gifu qui s'attaquent de front à l'usinage de ces matériaux dont l'approche est complètement différente de celles adoptées jusqu'alors.



## Un phénomène caractéristique du perçage des PRFC

Pourriez-vous tout d'abord nous parler du contexte de vos activités de développement ?

**Yanagida:** Comme nous fournissons des forets pour le perçage des PRFC à nos clients usinant des pièces d'avion depuis environ dix ans, nous avons déjà accumulé une certaine expérience dans l'amélioration progressive des outils. Nous cherchions à proposer une large gamme de solutions permettant de couvrir toutes sortes de PRFC en tirant parti du savoir-faire développé au cours de nos activités.

Les PRFC sont composés d'une superposition de couches de fibres de carbonées et de couches de résine therm durcie. Comparés à l'acier, ils sont quatre fois plus légers, dix fois plus durs, et se caractérisent par une résistance à la corrosion et à la chaleur, ainsi que par une importante rigidité. D'autre part, si les fibres de carbonées se caractérisent par leur dureté, elles sont en revanche cassantes, alors que la résine se caractérise par une flexibilité qui lui permet d'avoir une bonne plasticité.

**Yamamoto:** Pour ces raisons, leur usinage provoque des phénomènes complètement différents de ceux apparaissant dans l'usinage des métaux. Les principaux risques sont l'apparition de « fibres non coupées » et d'un « délaminage (décollement de la couche de surface ou entre les couches) » dûs à la structure en couches, ainsi qu'au phénomène de « back counter » apparaissant dans les matériaux multicouches à base de PRFC et de métal (en feuillet). Le point de départ de notre projet était de comprendre techniquement les mécanismes entraînant ces défauts lors du perçage de PRFC.

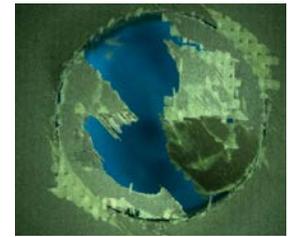
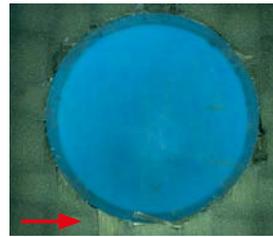
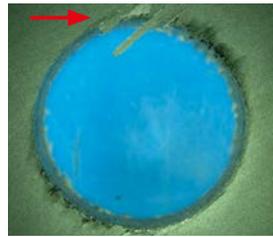
**Yanagida:** Certaines pièces utilisées dans les avions sont fabriquées avec des PRFC contenant des résines therm durcissables ou thermoplastiques qui peuvent comporter deux types de feuillet (couche de renforcement) en aluminium ou en titane. Les techniques utilisées pour usiner ces matériaux sont également globalement de deux types. Un usinage mécanique à l'aide de centres d'usinage, et un usinage manuel. La diversité des matériaux et des méthodes d'usinage rendent extrêmement difficile l'utilisation d'un seul et même type d'outil pour s'adapter à toutes les situations. Par conséquent, nous avons développé spécialement pour le perçage des PRFC la « Gamme MC », comportant au total sept types de forets avec des formes et des matériaux adaptés à l'utilisation envisagée, et avons lancé sa commercialisation cette année en avril.

### Exemple de défauts survenant lors du perçage des PRFC

Entrée : Fibres non coupées

Sortie : Délaminage

Arrachement de fibres



## Les forets MCA sont conçus avec des goujures destinées à empêcher les phénomènes de « back counter » dans les matériaux multicouches

Pourriez-vous nous présenter quelques-uns de ces sept types de produits ?

**Yanagida:** Aujourd'hui, je vais vous présenter deux types de produits : les forets MCA et MCC. MCA est une gamme de forets destinée au perçage des matériaux multicouches à base de PRFC et d'aluminium. Depuis une dizaine d'années, nous nous efforçons d'améliorer radicalement les performances des forets proposés spécifiquement pour l'usinage des PRFC. Malgré une usinabilité différente, les fibres de carbonées et l'aluminium (composants les matériaux multicouches) sont usinés avec le même foret, entraînant le phénomène « back counter ». Il s'agit d'un découpage partiel de la paroi du PRFC par les copeaux d'aluminium lors du perçage de la couche d'aluminium à la sortie de la couche de PRFC. Nous avons donc cherché à éviter la différence de diamètre du trou percé dans la couche d'aluminium de celui dans le PRFC en changeant complètement la géométrie de la goujure du foret lors du développement de cette gamme MCA.

**Yamamoto:** Nous nous sommes en particulier attachés à la conception de la largeur de la goujure. Dans les forets classiques, la goujure a une largeur constante. Nous avons, alors, conçu la goujure de nos forets de la gamme MCA avec une largeur grandissante au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de la pointe du foret. L'étroitesse de la goujure à l'extrémité du foret permet la formation de copeaux compacts qui sont ensuite repoussés tout au long de la goujure s'élargissant, sans entrer en contact avec la paroi du trou percé. Il s'agit vraiment de ce que l'on peut appeler une goujure spécialement conçue pour l'usinage des matériaux multicouches.

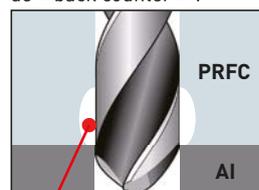
**Yanagida:** Nous nous sommes inspirés de l'application d'une technologie utilisée dans nos forets MWS pour le perçage de trous profonds pour concevoir cette goujure spécifique. Le rejet efficace des copeaux pour améliorer la qualité des parois des trous percés constitue, en effet, un enjeu commun à l'usinage des matériaux multicouches et au perçage des trous profonds. Pour développer cette gamme MCA, nous avons également tiré parti d'une autre technologie préexistante utilisée dans nos forets MHE pour l'usinage des moyeux d'automobile. Les forets MHE sont utilisés dans l'automobile pour le perçage des trous des boulons dans les moyeux qui relient les roues aux essieux. Ces trous exigent un dimensionnement diamétral extrêmement précis et une qualité de la surface environnant les trous extrêmement élevée. Leur usinage nécessite d'empêcher que les copeaux enlevés au début du perçage ne viennent abimer la surface des moyeux. Pour ces forets MHE, la solution trouvée a été de réduire la largeur de leur goujure par rapport à celle des forets ordinaires.

**Yamamoto:** Il en résulte que la gamme MCA est née de l'application simultanée du savoir-faire de deux produits existants, les forets MWS et MHE. On a fait en sorte de produire intentionnellement des copeaux de petite taille au début du perçage, qui sont ensuite refoulés dans la goujure qui s'élargit progressivement pour les empêcher d'entrer en contact avec la paroi du trou. On peut dire que la gamme MCA constitue un nouveau concept de forets cumulant à la fois la partie centrale des forets super longs MWS et la pointe des forets de perçage des moyeux MHE.

## Les forets MCC sont dotés d'arêtes de coupe positives donnant la priorité au tranchant



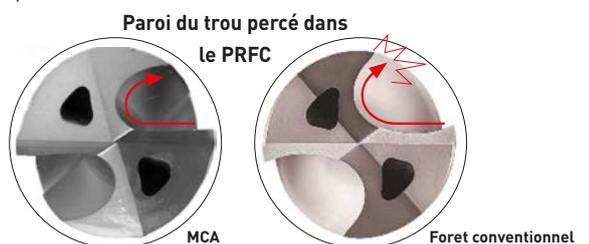
■ Qu'est-ce que le phénomène de « back counter » ?



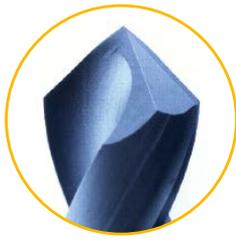
Différence de diamètre apparaissant lors de l'usinage des matériaux multicouches composés de PRFC et de métal

■ Géométrie de la nouvelle goujure

La forme de la goujure est conçue de manière à enrober les copeaux et à les empêcher d'entrer en contact avec la paroi du trou percé dans le PRFC et d'éviter le phénomène de « back counter »



Les copeaux entrent en contact avec la paroi du trou percé dans le PRFC et provoquent un phénomène de «back counter »!



#### ■ Pointe avec un angle de coupe de 90°

L'angle aigu de la pointe du foret permet de réduire la poussée et d'éviter le délaminage



# MCC

### Pourriez-vous nous parler du processus de développement des forets MCC ?

**Yamamoto:** Les forets MCC sont destinés au perçage des PRFC simples. Si le secteur aéronautique utilise non seulement des pièces en PRFC et en matériaux multicouches, les secteurs de l'automobile et des éoliennes quant à eux utilisent surtout des pièces en PRFC simples. La demande en usinage des PRFC simples de la part de notre clientèle est d'ailleurs élevée, notamment en ce qui concerne le perçage de plaques fines.

**Yanagida:** L'élimination du « délaminage » en sortie était le plus important défi pour le perçage des PRFC simples. Si l'absence de couche de métal à la sortie du PRFC, comme dans les matériaux multicouches, permet d'éviter le phénomène de « back counter », en revanche, il n'y a pas de surface pour compenser la résistance à la coupe au moment où le foret traverse la couche de PRFC, ce qui entraîne l'apparition d'une déformation de la couche superficielle du PRFC et son arrachement.

**Yamamoto:** Pour empêcher le « délaminage », nous avons mis la priorité sur la coupe des fibres de carbone des PRFC en donnant à nos forets MCC un tranchant maximal et une forme limitant la résistance à la coupe. Nous nous sommes en particulier concentrés sur la forme de leurs arêtes de coupe. Les forets ordinaires sont généralement conçus avec des lèvres dont les arêtes de coupe ont un angle négatif afin de renforcer leur résistance à la détérioration et ainsi allonger leur durée de vie. Toutefois, cet angle négatif des arêtes ne permet pas de couper correctement les couches dures de fibres de carbone. Nous avons tiré parti de l'excellente résistance à la détérioration des matériaux utilisés dans nos outils pour augmenter l'angle des arêtes de

coupe de nos forets MCC par rapport à leur axe de rotation. Ces arêtes sont si tranchantes qu'il suffit de les toucher de la main pour se couper. Ce tranchant acéré permet de couper d'un coup les fibres de carbone des PRFC et ainsi d'éviter le « délaminage » en sortie, ainsi que la présence de fibres non coupées. D'autre part, le fait d'avoir donné à la pointe un angle de coupe de 90° permet de limiter la poussée au début de l'usinage, ce qui contribue également à l'élimination du « délaminage ».

### Quelles sont les caractéristiques de leur revêtement ?

**Yamamoto:** Les fibres de carbone des PRFC disposant d'excellentes caractéristiques mécaniques, sans revêtement, même des forets en carbure s'usent en un instant après le début du perçage. Pour cette raison, nous utilisons un revêtement diamant CVD pour renforcer la résistance à l'usure de nos forets MCA et MCC.

**Yanagida:** Pour donner un tranchant extrême à l'arête de coupe de la pointe des forets, il ne suffit pas d'en changer la forme, il faut également considérer la taille des cristaux de diamant du revêtement. Notre nouveau revêtement diamant CVD comporte des cristaux de diamant extrêmement fins, ce qui permet de donner aux arêtes de coupe une adhérence élevée et d'avoir une durée de vie dix fois plus longue que celle des revêtements conçus jusqu'alors.

### Pouvez-vous nous parler de l'approche utilisée au cours de leur développement ?

**Yamamoto:** Pour améliorer le tranchant, caractéristique à laquelle nous avons accordé la plus

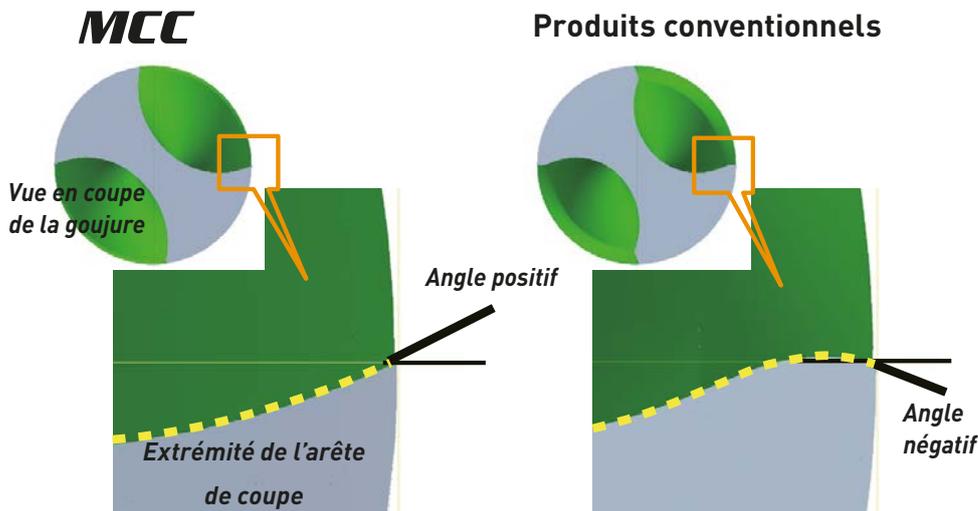
grande priorité, en plus du traitement des arêtes de coupe, nous avons cherché jusqu'à quel point nous pouvions augmenter l'angle de l'hélice, l'angle des arêtes de coupe, et l'angle de dégagement qui constituent les éléments de base des forets. Nous voulions combiner ces différents angles de manière à obtenir des forets qui ne se brisent pas, ni ne se détériorent. Quoi qu'il en soit, nous avons commencé par faire des essais pour repousser les limites au maximum. Généralement, il va sans dire que plus la valeur de ces différents angles est importante, plus le tranchant est élevé. Les métaux durs étant des matériaux fragiles par définition, ces valeurs sont limitées du point de vue de la résistance à la détérioration. Par ailleurs, les caractéristiques finales de forets dépendant à la fois de l'effet combiné des différents facteurs, ainsi que du type de matériaux utilisés, de nombreuses inconnues subsistent tant qu'on ne procède pas à de réels essais.

**Yamamoto:** Du point de vue du tranchant, le traitement des arêtes de coupe, dont nous avons parlé précédemment, est capital. Les produits que nous fabriquons jusqu'alors étaient traités avant l'application d'un revêtement, ce qui entraînait la présence de minuscules irrégularités minuscules. Pour y remédier, nous avons traité les arêtes des forets MCC avec une méthode d'usinage totalement différente de celles que nous utilisons pour nos produits jusqu'alors, afin de leur donner une belle ligne de crête uniforme. L'adoption d'une nouvelle méthode de traitement nous a permis d'obtenir à la fois un meilleur tranchant et une meilleure résistance, tout en allongeant la durée de vie des forets et en améliorant la qualité des trous percés.

**Yanagida:** En ce qui concerne la gamme MC, les essais conjoints réalisés avec l'université

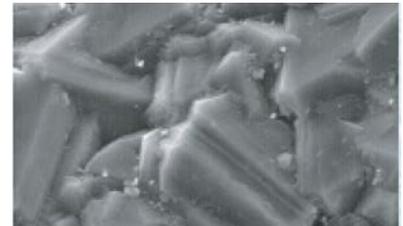
### ■ Une goujure avec des arêtes de coupe à l'angle élevé

L'augmentation de l'angle des arêtes de coupe par rapport à l'axe de rotation permet d'améliorer le tranchant et d'éliminer les fibres non coupées ou le délaminage.

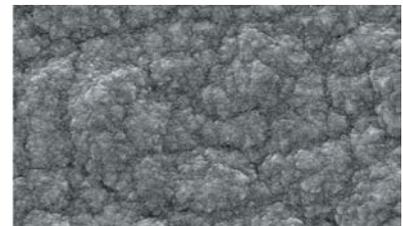


### ■ Comparaison de la surface du revêtement diamant CVD

Notre revêtement diamant CVD original permet à la fois de gagner en résistance à l'usure et de réduire les aspérités



Produits conventionnels



Nouveau revêtement

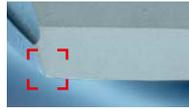
■ Optimisation de la forme des arêtes (comparaison des arêtes de coupe)



Présence d'aspérités  
Traitement des arêtes de coupe utilisé jusqu'à présent



Crête uniforme  
Nouveau traitement des arêtes de coupe pour l'usinage des PRFC simples



- Réduction de l'arrondi
- Amélioration du tranchant
- Crêtes des arêtes de coupe uniformes. Allongement de la durée de vie !



technique de Vienne (Autriche), ont également eu un poids important. Nous avons demandé la coopération de cette université pour effectuer des essais de nos prototypes avec différentes épaisseurs de revêtement, différents arrondis des arêtes de coupe, et différents angles de coupe, ce qui nous a permis d'obtenir des données de base et d'identifier les principaux facteurs de réussite.

La « difficulté » et l'« intérêt » de se confronter à de nouveaux matériaux

Pourriez-vous nous dire ce qui vous a posé le plus de difficulté lors du développement de cette gamme MCC ?

**Yamamoto:** En ce qui concerne l'usinage des PRFC dont le mécanisme de coupe diffère des métaux ordinaires, nous avons rencontré énormément de problèmes, tout en tirant beaucoup de plaisir. Pour ma part, j'ai été muté dans ce département Aéronautique en octobre 2016 lorsque le groupe aéro de Gifu y a été créé, pour m'occuper du développement de cette gamme MCC. Bien que j'avais déjà une certaine expérience dans le développement des forets pour l'usinage des métaux, c'était la première fois que j'étais confronté à des matériaux tels que les PRFC. L'apparition, au cours de leur usinage, de tous les phénomènes spécifiques étaient nouveaux pour moi et particulièrement intéressants. Par ailleurs, la découpe de matériaux tels que les PRFC restaient encore un domaine à l'histoire récente, ce qui permettait de goûter à l'ivresse de s'attaquer à un nouveau défi.

**Yanagida:** Dans notre département les ingénieurs tels que Monsieur Yamamoto fabriquent eux-mêmes les prototypes. Ils fabriquent sans cesse de nouveaux prototypes en utilisant eux-mêmes des machines à affuter, en réfléchissant aux conditions optimales de coupe telles que l'angle ou la vitesse de coupe, le type de pierres à affuter, etc., le doigté acquis en tant qu'ingénieur leur permet de se perfectionner.

**Yamamoto:** Quoi qu'il en soit, comme la priorité était donnée au tranchant pour les prototypes de la gamme MCC, nous avons changé les conditions de coupe de nombreuses fois et avons continué à construire des arêtes de coupe inlassablement et laborieusement. Les meilleurs prototypes obtenus étaient, ensuite, proposés aux clients pour faire des essais et nous étions vraiment heureux lorsque ceux-ci nous disaient « ils (les trous) sont de bien meilleure qualité qu'avec les forets que nous utilisons actuellement ».

**Yanagida:** Je pense que gérer la conception, la fabrication des prototypes, et les essais permet d'appréhender à la fois théoriquement et physiquement les performances des outils dans leurs moindres détails. Pour la gamme MCC, je pense que la fabrication de prototypes par Monsieur Yamamoto lui a permis de trouver des solutions, de les adoptées, et de développer des produits dont nous sommes fiers.

Pourriez-vous nous parler des tendances à venir en ce qui concerne les forets de perçage des PRFC ?

**Yanagida:** La principale priorité dans la fabrication des pièces d'avion est la sécurité. Bien sûr, un allongement de la durée de vie des forets est nécessaire, cependant la qualité des trous percés est beaucoup plus importante. À l'avenir, nous avons

l'intention de poursuivre notre quête pour parvenir à améliorer ces deux facteurs à la fois. D'autre part, nous anticipons une augmentation de la difficulté d'usinage des matériaux due à l'amélioration de la résistance des PRFC et à l'apparition de nouveaux matériaux multicouches avec de l'acier inoxydable. Nous allons donc continuer à approfondir nos connaissances dans le domaine de l'usinage des PRFC et essayer de nous adapter aux besoins d'un marché de plus en plus exigeant, en effectuant des recherches conjointes avec les fabricants de fibres de carbone, et en coopérant avec les universités effectuant des recherches de pointe dans ce domaine.

Pour terminer, avez-vous un message pour vos clients ?

**Yanagida:** La structure des PRFC n'est sujette à aucune norme JIS ou ISO. Chaque PRFC comporte différents types de résine, des fibres de carbone de différentes épaisseurs et tissées de différentes manières, ce qui confère un caractère unique à chacun d'eux. Il est donc nécessaire d'ajuster précisément les forets en fonction des types de matériaux et de la qualité des trous exigés. N'hésitez donc pas à nous faire part de tous vos besoins pour que nous puissions nous adapter à vos exigences.

**Yamamoto:** La gamme MC dont nous venons de parler figure dans notre catalogue en tant que produit standard. Toutefois, nous considérons qu'il s'agit avant tout d'un produit semi-standard livré après avoir été adapté aux besoins de nos clients. Nous nous efforçons de répondre rapidement aux demandes de nos clients, n'hésitez donc pas à nous contacter.

MITSUBISHI MATERIALS  
P713G  
SOLUTIONS FOR COMPOSITE

■ Produits de la gamme MC

Machines d'usinage / Matériaux usinés	Machines-outils à commande numérique	Outils manuels
PRFC TPRFC	PRFC simples <b>MCC</b> DD210S	PRFC/TPRFC PRFC/Matériaux multicouches à base d'aluminium Perçage de haute précision <b>MCCH</b> DT2030
PRFC Al	PRFC/Matériaux multicouches à base d'aluminium <b>MCA</b> DD2110	Perçage manuel des PRFC / Matériaux multicouches à base d'aluminium <b>MCAH</b> DT2030
PRFC Ti	PRFC/Matériaux multicouches base de titane <b>MCT</b> TF15	PRFC/Matériaux multicouches à base de titane Perçage de haute précision <b>MCW</b> HT110

\*TPRFC=Thermoplastique renforcé de fibres de carbone



# Un centre de recherche développant de nouveaux matériaux et revêtements pour soutenir l'industrie aéronautique

Le Département couches minces et revêtements de l'Institut central de recherche de la société Mitsubishi Materials s'occupe du développement et de la recherche relative aux nouveaux matériaux et revêtements, dans le but d'améliorer considérablement les performances des outils de coupe. Voici un compte-rendu de ce qui se passe sur le terrain dans ce secteur de pointe de la recherche et du développement.

## À PROPOS DE NOUS

Institut Central de Recherche  
Département couches minces et revêtements

### Demandons au directeur !

Takatoshi Oshika  
Directeur du Département couches minces et revêtements de l'Institut central de recherche

L'ensemble des employés du département travaillent main dans la main pour créer de nouvelles valeurs et donner jour à de nouvelles technologies encore jamais vues



### Innover dans la recherche et le développement grâce à des techniques de pointe d'analyse et d'évaluation

L'Institut de recherche minière de Mitsubishi Materials a été fondé en 1917 à Shinagawa en tant que premier institut de recherche privé. Après avoir déménagé à Omiya (actuelle ville de Saitama), il a été transféré à Naka, (préfecture d'Ibaraki), en 2007. Il a, alors, été doté de trois instituts annexes, à Omiya, Onahama, et Kitamoto, pour amorcer un nouveau départ sous le nom d'Institut central de recherche. Cette année, l'institut fête son 100e anniversaire. Le Département couches minces et revêtements, département comptant le plus grand nombre de chercheurs de tout l'institut, est chargé du développement de nouveaux matériaux dotés de performances inexistantes jusqu'alors, grâce à l'élaboration de matériaux durs frittés ou de revêtements fonctionnels, et grâce à la maîtrise à l'échelle du nanomètre des structures et interfaces. Takatoshi OSHIKA, directeur du département, explique ainsi les points forts de l'Institut central de recherche : «L'institut dispose d'appareils d'analyse rares au Japon, adopte des équipements à la pointe de la technologie et emploie de nombreux chercheurs chevronnés, capables d'utiliser ces équipements avec un haut niveau de compétence. Je pense que c'est ce qui fait la force de l'institut. Outre notre département, l'Institut central de recherche dispose de 9 autres départements responsables de divers sujets, tels que l'analyse des matériaux, les matériaux électroniques, etc., qui sont capables de réunir et d'appliquer très rapidement une grande variété de technologies générant ainsi un effet synergique qui fait la force du groupe Mitsubishi Materials. D'ailleurs, nous créons continuellement de

nouveaux produits issus de la fusion de technologies de secteurs différents, tels que par exemple " thermistor flexible ", le capteur de température le plus mince au monde.»

En adoptant des technologies de pointe, notamment la technologie des couches d'alumine hautement résistantes à l'usure, le Département couches minces et revêtements a créé une technologie des constituants pouvant être appliquée à des produits particulièrement innovants tels que les gammes «UC5105/UC5115» de revêtements CVD pour le tournage de la fonte qui ont une durée de vie largement supérieure aux produits existants. «Actuellement, nous effectuons également des recherches dans le domaine de la technologie des composants des forets à diamant polycristallin (PCD) pour l'usinage des PRFC, et nous avons déjà terminé la conception de base des matériaux. Parallèlement, nous poursuivons également des recherches dans le domaine des revêtements diamant CVD pour l'usinage des PRFC, et faisons en sorte de pouvoir mettre en application au plus tôt cette technologie.» D'autre part, Takatoshi OSHIKA explique que son département est en train de s'attaquer activement au développement de technologies innovantes. «Supposons par exemple qu'il suffise de réduire la taille des particules du matériau d'un revêtement pour doubler sa résistance. Si les appareils actuels ne permettent pas de réduire davantage la taille des particules, alors il faudra modifier complètement les appareils utilisés. Ceci pourra alors déboucher sur la création d'un appareil unique au monde. Je suis persuadé que le développement en soi et l'utilisation optimale d'équipements à forte valeur ajoutée rend possible la création de matériaux innovants. Pour



imager, on pourrait comparer cela à un manga de baseball où le lanceur lance une balle extraordinaire à la trajectoire trompeuse. Il ne s'agit pas d'améliorer sa technique de lancer en travaillant la maîtrise du lancer ou de la trajectoire, mais plutôt d'essayer sans répit de lancer une balle à la trajectoire trompeuse comme personne n'en a jamais vu et qui disparaît par exemple soudainement de la vue du frappeur. Voilà comment nous envisageons l'avenir au Département couches minces et revêtements.»

#### Développement de revêtements diamant CVD pour l'usinage des PRFC

Kazutaka FUJIWARA, 20 ans d'ancienneté dans l'entreprise, est entré à l'Institut central de recherche il y a 10 ans et s'occupe du développement et de la recherche des revêtements diamant CVD pour les outils coupants. Il nous explique ci-dessous l'intérêt de son travail. «Comparé aux services de développement d'une usine, l'institut est plus éloigné des clients. Pour cette raison, et afin de pouvoir garder un lien avec les clients, je m'efforce de toujours garder un contact étroit avec les équipes de développement des usines qui connaissent bien leurs attentes. C'est à partir d'une bonne compréhension de ces attentes, que je m'attèle à la recherche des principes et bases fondamentales comme seul peut le permettre un institut de recherche, pour découvrir de nouveaux faits ou établir de nouvelles hypothèses. Le résultat de ces découvertes, au final, se répercute sur les produits sous forme d'une amélioration considérable de leurs performances. Nous sommes vraiment comblés d'apprendre l'accueil positif du marché d'un nouvel outil développé avec de nouvelles technologies.» Actuellement, Kazutaka FUJIWARA se focalise sur la recherche et le développement de revêtements diamant CVD pour les outils d'usinage des PRFC, utilisés dans la fabrication du fuselage des avions. «Notre entreprise commercialise déjà des forets et des fraises à embout revêtus ainsi. Nous poursuivons le développement d'un nouveau revêtement permettant encore d'augmenter considérablement les performances.»

#### Nous cherchons à développer de nouveaux outils à partir de nouvelles technologies uniques au monde

La fabrication des avions nécessite non seulement des PRFC, mais également des matériaux composites tels que des assemblages de PRFC et d'aluminium ou de titane. L'usinage simultané avec le même outil de matériaux différents exige un outillage aux performances extrêmement élevées, difficiles à atteindre, même pour les revêtements diamant CVD mentionnés précédemment. «Dans le cas de l'usinage de pièces en PRFC, il suffit d'augmenter la proportion de diamants, c'est-à-dire d'augmenter la dureté du revêtement pour améliorer sa résistance. En revanche, dans le cas d'usinage de métaux tels que l'aluminium ou le titane, augmenter la proportion de diamants entraîne une réaction entre le revêtement et le matériau usiné causant l'apparition d'adhérences sur les outils, ce qui réduit la qualité de l'usinage et la durée de vie de l'outillage. Le plus important défi dans le développement de ces revêtements diamant CVD est la résolution simultanée de deux problèmes contradictoires que sont l'obtention de hauts niveaux de performance d'un même revêtement dans l'usinage de matériaux différents, et l'allongement conséquent de la durée de vie de l'outil.» L'objectif que s'est fixé Kazutaka FUJIWARA est de créer un revêtement diamant CVD ayant une durée de vie «trois fois plus longue que celle des produits existants». Son équipe travaille d'arrache-pied, main dans la main, dans le but d'apporter une contribution décisive à sa commercialisation d'ici 2018. «Notre mission à l'Institut Central de Recherche est de créer des techniques innovantes qui n'existaient pas jusqu'à présent. Nous voulons développer de nouvelles technologies uniques au monde, ce qui est possible pour Mitsubishi Materials, et transmettre à nos clients du monde entier notre enthousiasme par l'intermédiaire de produits utilisant ces technologies.»

**Demandons à un chercheur !**

Kazutaka Fujiwara  
Chercheur principal,  
Département couches minces et revêtements  
Institut Central de Recherche

Travailler au développement d'un revêtement diamant CVD ayant une durée de vie trois fois plus longue que celle des produits existants



## Les caractéristiques des installations de l'Institut Central de Recherche

1

De nombreux appareils d'analyse de pointe



2

Facilité du partage d'information entre les chercheurs grâce à un espace d'échange



3

Une bibliothèque spécialisée riche en ouvrages techniques, documents et ressources



# TECHNOLOGIE DE POINTE

Vol. 5

## Le défi des outils rotatifs de nouvelle génération

Les pièces utilisées dans la fabrication des avions nécessitent des matériaux dont une grande partie est plus difficile à usiner que les matériaux généralement utilisés dans les autres secteurs, ce qui entraîne une réduction drastique de la durée de vie des outils d'usinage. Mitsubishi Materials Corporation a décidé de s'attaquer au défi de développer des outils rotatifs de nouvelle génération pour répondre aux espérances des acteurs du marché de voir un jour se développer des méthodes révolutionnaires d'usinage permettant d'augmenter radicalement la durée de vie des outils lors de l'usinage de ces matériaux. Aujourd'hui, nous allons vous présenter le développement de deux nouveaux outils rotatifs, un porte-outil motorisé pour machines multifonctions, et une fraise à plaquettes rotatives destinée à être utilisée dans les centres d'usinages.

### PROJET 1

## Un outil tournant sur lui-même de manière autonome

Le développement d'un porte-outil motorisé tirant habilement parti des avantages des machines-outils multifonctions

Mitsubishi Materials a commencé à développer des porte-outils de tournage rotatifs dont la plaquette tourne sur elle-même au cours de l'usinage depuis une vingtaine d'années. À l'époque, un mécanisme innovateur consistant à provoquer la rotation de la plaquette par les efforts de coupe avait été adopté de manière audacieuse. La rotation de la plaquette permettait de réduire considérablement l'écaillage des arêtes qui est l'un des principaux facteurs d'usure des outils lors de l'usinage des matériaux difficiles à usiner, et a donc permis d'allonger considérablement leur durée de vie. Le premier porte-outil rotatif a ainsi connu un franc succès grâce à ses performances dans l'usinage des matériaux difficiles. Cependant la complexité de son mécanisme limitait la raideur des outils et son nombre important de composants le rendait beaucoup plus cher comparé aux porte-outils standards. Aujourd'hui encore, un certain nombre de nos clients continuent à utiliser ce porte-outil, mais la demande a diminué avec le temps. S'il s'agissait à l'origine d'un produit constamment en stock, nous ne le produisons plus actuellement que sur commande.

Cependant, en coulisse, le développement d'un nouveau porte-outil rotatif s'est poursuivi en tirant parti des connaissances acquises au cours du développement de ce premier porte-outil rotatif. Ce sont les machines-outils multifonctions qui ont inspiré l'invention d'un nouveau mécanisme de rotation. Le porte-outil rotatif originel utilisait les efforts coupe pour entraîner la rotation de la plaquette, ce qui entraînait parfois une instabilité du couple de rotation en fonction des conditions d'usinage, ce qui empêchait d'obtenir des

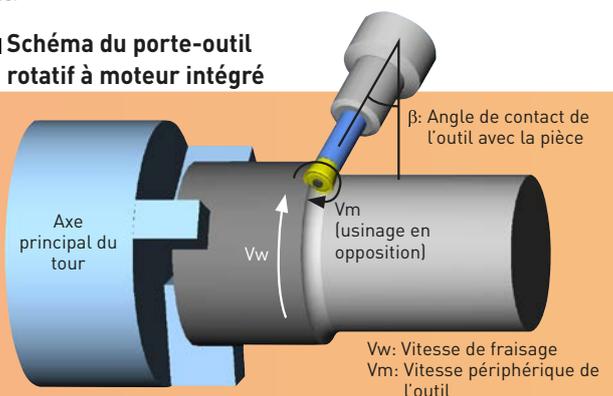
performances stables. L'idée est venue que si l'on réussissait à générer un couple de rotation stable quelles que soient les conditions de coupe, un nouvel outil rotatif pourrait voir le jour. C'était il y a une dizaine d'années. C'est à cette époque que nous avons commencé des recherches conjointes. L'utilisation de machines-outils multifonctions qui autorisent le contrôle de la rotation des outils nous a permis de donner une forme concrète au concept d'un porte-outil rotatif motorisé plutôt qu'à rotation entraînée. Cependant, la vitesse de rotation et l'angle de contact entre l'outil et la pièce usinée pouvant être paramétrés librement, le premier obstacle à surmonter a été la détermination des conditions idéales de coupe et de cet angle de contact.

Non seulement la vitesse de rotation de l'outil, mais également son angle de contact avec la pièce sont cruciaux. L'épaisseur et les angles de coupe ont un impact important sur la durée de vie des outils, mais varient considérablement en fonction des conditions de coupe telle que la vitesse de coupe, l'avance, ou la profondeur de passe. Dans le cas présent, la variation de l'angle d'outil s'ajoutant à ces facteurs, il va sans dire que la détermination des conditions de coupe optimales s'avérait particulièrement difficile. C'est là que le laboratoire Sasahara nous a prêté main-forte pour déterminer les valeurs théoriques de ces paramètres et pour rechercher les conditions optimales.

D'autre part, en ce qui concerne le développement de la forme de l'outil, le principal problème était de minimiser les décalages entre l'axe de la plaquette et l'axe de rotation. Si cet écart est trop important, la plaquette se met à tourner de manière excentrique, ce qui entraîne une variation de la profondeur de passe et empêche une bonne tenue de cote. Par ailleurs, la variation de la profondeur de passe entraîne une instabilité de l'effort de coupe, ce qui favorise l'écaillage et risque de provoquer une défaillance brutale de la plaquette. Pour résoudre ce problème d'alignement entre la plaquette et le porte-outil, nous avons réalisé de nombreux prototypes sur lesquels nous avons multiplié les essais, ce qui a abouti à la création d'un mécanisme ingénieux permettant de maintenir un écart de moins de 0,01 mm entre l'axe de la plaquette et celui du porte-outil.

Une autre caractéristique majeure de ce porte-outil est son arrosage interne. Il est effectivement conçu de manière à être alimenté en liquide de coupe à travers l'espace situé entre le trou de plaquette et la vis de serrage. Ce système a tendance à réduire le serrage de la plaquette sur le porte-outil. Cependant, un mécanisme unique permet d'assurer un serrage suffisant. L'outil tournant sur lui-même à vitesse constante, la chaleur dégagée pendant la coupe est répartie uniformément sur le pourtour de la face de coupe, et la circulation du liquide d'arrosage à l'intérieur du porte-outil a l'avantage de non seulement refroidir efficacement la plaquette sur toute sa surface, mais également de permettre une bonne évacuation des copeaux.

### ■ Schéma du porte-outil rotatif à moteur intégré





Déroulement de l'usinage

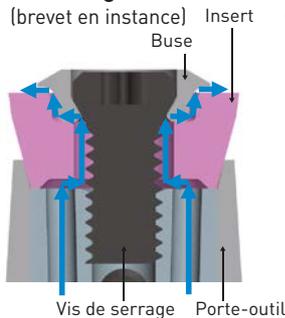
Phases de développement du mécanisme (les stades les plus en arrière sont les plus anciens)

## Une durée de vie dix fois plus longue que celle des porte-outils à plaquettes standards

Le porte-outil rotatif motorisé que nous avons développé dispose des caractéristiques suivantes :

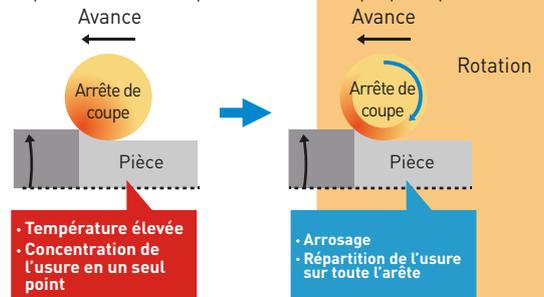
1. L'utilisation de toute la face de coupe de la plaquette permet de répartir uniformément l'usure de l'outil et de pouvoir ainsi utiliser la plaquette jusqu'à sa durée de vie maximum.
2. La rotation stable de l'outil permet de répartir efficacement la chaleur dégagée par la coupe, et le système d'arrosage interne permet de réduire considérablement l'usure.
3. Le système de serrage unique, de grande précision et de forte raideur permet un usinage stable et à haut rendement

### ■ Structure du système d'arrosage interne



### ■ Mécanisme du moteur intégré

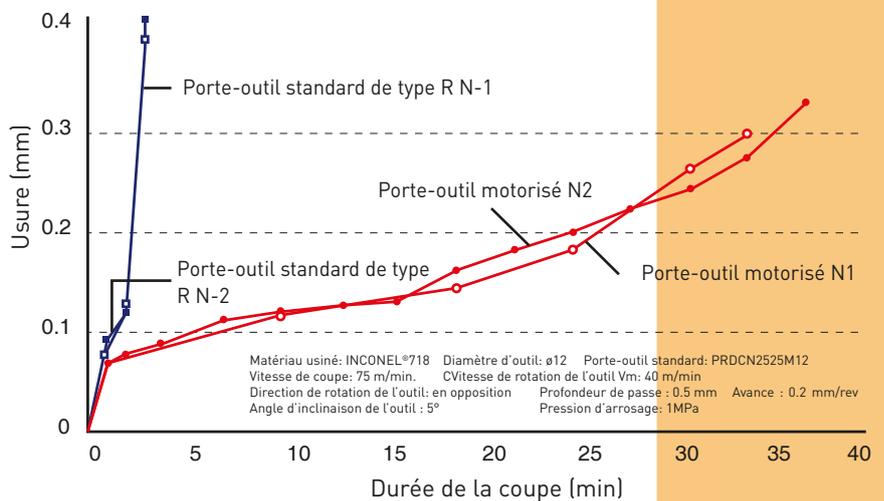
Seule la pièce tourne sur elle-même, la coupe étant effectuée en un seul point de l'arête de coupe



• Température élevée  
• Concentration de l'usure en un seul point

• Arrosage  
• Répartition de l'usure sur toute l'arête

### ■ Courbe de durée de vie des outils dans l'INCONEL®718



Grâce à ces caractéristiques, comme le montre le graphique à droite, nous avons réussi à obtenir une durée de vie considérablement augmentée par rapport à des porte-outils standards lors de l'usinage d'Inconel 718. Par ailleurs, ce porte-outil est non seulement idéal pour l'usinage des matériaux difficiles tels que les alliages réfractaires, mais également pour les matériaux composites comportant de l'aluminium ou de l'acier. Ce porte-outil nécessitant une fréquence de remplacement des outils moins importante et ceux-ci ayant une durée de vie plus longue, il permet en particulier de répondre au besoin de limiter fortement les coûts d'utilisation en autorisant l'usinage de nuit en l'absence de personnel, ou la répartition d'un personnel peu nombreux sur plusieurs machines.

## Les problèmes rencontrés au cours du développement du premier porte-outil rotatif mis au grand jour ?

Au cours du développement du premier porte-outil rotatif, l'usure de l'arête de coupe a souvent posé des problèmes pour l'usinage des matériaux difficiles dont la conductivité thermique est faible. Sa réduction nécessitait de donner à la plaquette une vitesse de rotation équivalente à la vitesse d'éjection des copeaux. Autrement dit, nous considérons que, si l'on tenait compte d'un taux standard de cisaillement des copeaux, une vitesse équivalente à environ un tiers de la vitesse de

coupe serait idéale. La rotation du premier porte-outil rotatif étant générée de manière passive par les efforts de coupe, il n'était pas possible de la contrôler, et nous n'avions donc pas à l'époque analysé ce paramètre. Notre nouveau porte-outil rotatif nécessitant de régler des paramètres multiples, on peut dire qu'il est difficile de le paramétrer de manière optimale et précise pour répondre aux différentes conditions de coupe de chacun de nos clients.

De nombreux essais d'usinage nous ont permis progressivement de déterminer les valeurs recommandées pour ces paramètres. Or, ces valeurs s'avèrent être très proches de la vitesse de rotation de l'outil que nous avons envisagé pour les matières difficiles et qui correspondait à environ un tiers de la vitesse de coupe. Nous poursuivons actuellement le développement de ce porte-outil motorisé dans le but de le commercialiser au cours de l'année 2017.

# TECHNOLOGIE DE POINTE



(À gauche) Yuji TAKAGI, Groupe Tsukuba Aero, département aéronautique, responsable du développement de la fraise à plaquettes rotatives  
(À droite) Wataru TAKAHASHI, Groupe R&D avancés, Centre de technologie d'usinage, Division recherche & développement, responsable du développement du porte-outil rotatif à moteur intégré

## PROJET 2

## Une fraise rotative entraînée dont la plaquette tourne sur elle-même au cours du fraisage

### Calculer la valeur théorique du couple de rotation sur la plaquette

Cette nouvelle fraise rotative dont les plaquettes sont entraînées de manière passive a été développée grâce au savoir-faire accumulé lors du développement du premier porte-outil rotatif.

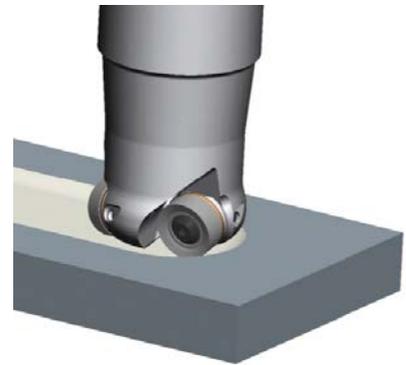
Après la création du premier porte-outil rotatif, Mitsubishi Materials a essayé d'appliquer le système de la plaquette entraînée par les efforts de coupe aux fraises à plaquettes. Mais la taille du mécanisme de rotation du premier porte-outil rotatif constituait le principal obstacle à son utilisation sur des outils de fraisage, et il fut conclu à l'époque que cela était irréalisable.

Cependant, aujourd'hui, la progression des matériaux difficiles à usiner dans de nombreux secteurs industriels a rendu l'augmentation du taux d'enlèvement de matière et de la durée de vie des outils un problème à résoudre de manière prioritaire. Nous savions parfaitement que la rotation de la plaquette au cours de l'usinage constituait également une solution valable pour le fraisage. C'est dans ce contexte qu'il y a une dizaine d'années, l'université de Nagoya, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd et Mitsubishi Materials ont entrepris le développement conjoint d'une nouvelle fraise à plaquettes rotatives.

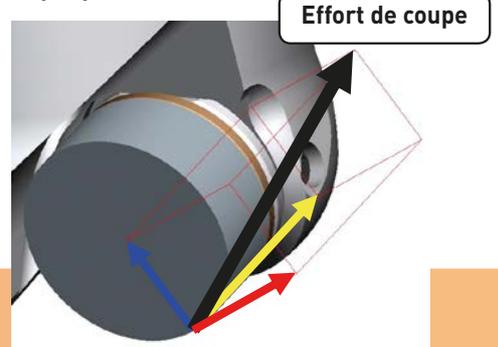
Le premier défi de ce développement était de déterminer l'angle d'orientation de la plaquette pour obtenir un couple suffisant pour entraîner sa rotation par les efforts de coupe. En effet, si la plaquette est installée selon une orientation où l'effort de coupe est faible, le couple de rotation généré sera trop faible pour entraîner une vitesse de rotation suffisante. Si au contraire elle est installée selon une orientation où l'effort de coupe est élevé dans le but d'obtenir un couple de rotation important, des écaillages se produiront au cours du fraisage et la plaquette ou même l'ensemble de l'outil risque d'être endommagé. Il était donc nécessaire de trouver un angle d'orientation de la plaquette précis, permettant de générer un effort de coupe suffisant pour assurer une rotation stable dans des conditions de fraisage aussi diverses que possible.

C'est l'université de Nagoya qui a réussi à trouver la solution à ce problème difficile. Après avoir établi des formules de calcul complexes, elle a réussi grâce à une analyse numérique à calculer l'angle d'orientation optimal théorique de la plaquette pour entraîner sa rotation. À l'époque du développement du premier porte-outil rotatif, nous avons déjà réussi

à déterminer l'angle d'orientation de la plaquette grâce à une méthode empirique et aux résultats expérimentaux. Cependant, ce calcul théorique a permis de réduire considérablement le temps de développement de cet outil.



### ■ Mécanisme de rotation de la plaquette



- Composante radiale de l'effort de coupe
- Composante tangentielle de l'effort de coupe ⇒ Force d'entraînement
- Composante axiale de l'effort de coupe





Déroulement de l'usinage



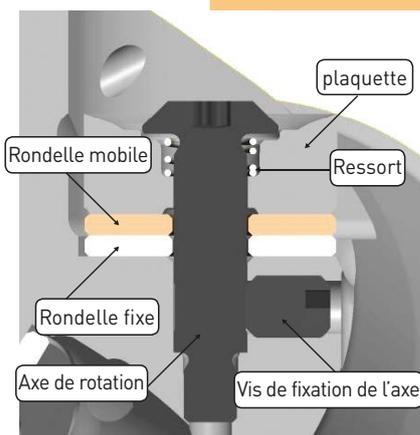
Le premier porte-outil rotatif

## Durée de vie 8 à 10 fois plus longue des outils développés jusque-là par notre société

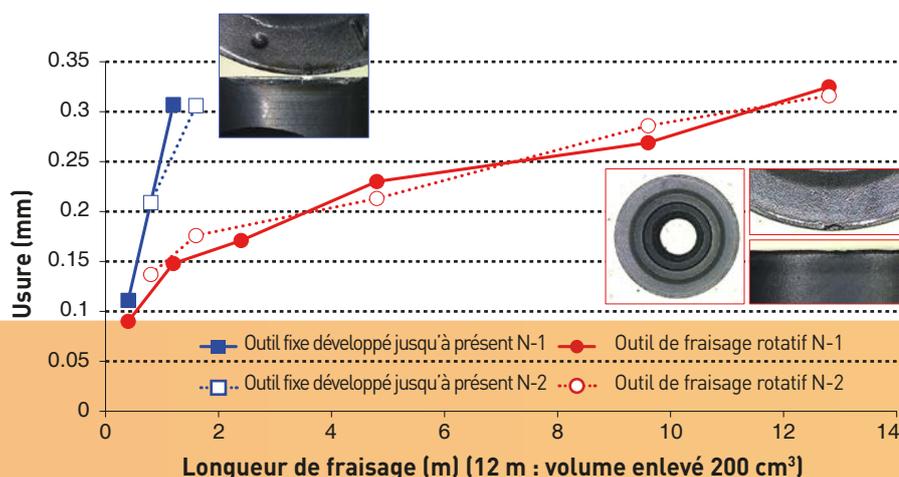
On peut dire que le défi suivant qui consistait à loger une plaquette dans un espace extrêmement réduit était un problème inhérent à la forme des outils de fraisage. Il fallait inventer un mécanisme de rotation aussi petit que possible, pouvant se loger dans cet espace réduit. Pour cela, il était nécessaire d'avoir un jeu optimal entre le trou de la plaquette et la vis de serrage pour permettre une rotation régulière. Trop étroit, il provoquerait des accrochages, trop large, la plaquette manquerait de stabilité. Par ailleurs, du point de vue de la raideur, la taille relative entre la plaquette et le diamètre de la vis de serrage constituait également un facteur important. Pour répondre à ce défi, nous avons multiplié les études, analyses, prototypes et essais pour aboutir finalement à la conception d'un mécanisme de rotation avec un ressort sous la tête de vis de serrage pour obtenir à la fois un jeu et une raideur optimaux. Alors que cette simplification et réduction de taille du mécanisme de rotation permettait d'entrevoir enfin la finalisation de cette fraise rotative, nous nous sommes heurtés à un nouveau défi. Il s'agissait de l'apparition d'une usure irrégulière au niveau de l'assise en carbure disposée entre la plaquette et le corps d'outil, due à un contact en rotation. La rotation de la plaquette permet d'uniformiser l'usure de l'arrête de coupe, mais la pression sur l'assise en carbure destinée à reprendre l'effort de coupe n'est pas uniforme et se concentre principalement

sous l'arrête de coupe. La plaquette et l'assise étant en carbure, lorsqu'une charge ponctuelle les fait entrer en contact pendant la rotation, une usure irrégulière de cette zone de contact est inévitable. Pour résoudre ce problème, nous avons inséré une rondelle métallique mobile entre la plaquette et l'assise pour servir de matériau tampon. Ainsi, la résolution un à un de tous ces divers problèmes nous a permis d'aboutir à la finalisation d'un nouveau type de fraise qui utilise l'effort de coupe pour entraîner la rotation de l'insert. Le principal avantage de ce type d'outil réside dans l'absence de nécessité de changer d'arête de coupe, ce qui permet d'usiner ainsi pendant une longue durée (sans intervention humaine). Comme le montre le graphique ci-dessous, en ce qui concerne l'usinage des alliages réfractaires, nous avons réussi à obtenir une durée de vie de 8 à 10 fois plus longue que celle de nos outils de fraisage développés jusqu'alors, pour une même arête de coupe. Cette nouvelle fraise à plaquettes rotatives sera commercialisée au cours de l'année 2017, mais nous projetons également de proposer par la suite ce système sur d'autres types de fraise et sur des outils de tournage. D'autre part, nous sommes également en train d'étudier la possibilité de développer diverses géométries de plaquettes pour permettre l'usinage en ramping, et allons nous efforcer de continuer à faire évoluer cette fraise rotative.

### Schéma du mécanisme



### Résultats des essais de fraisage d'alliages réfractaires (fraisage en bout)



Conditions de fraisage :  $v_c = 30$  m/min;  $f_z = 0,1$  mm;  $a_p = 1,0$  mm;  $a_e = 18$  mm; usinage avec une seule plaquette, arrosage; matière usinée : Inconel®718



和

## Shuriken



UTAGAWA Kunisada (1786-1864), « Enshi goju yojo »  
Représentation d'un combat contre un *ninja* s'étant introduit dans une résidence

## Shuriken

Le *shuriken* est une arme de jet généralement associée aux « ninjas ». Les samourais apprenaient également l'art du *shuriken* comme celui de l'arc, de la lance ou du sabre. Le dernier shogun, TOKUGAWA Yoshinobu (1837-1913), à la fin de l'époque d'Edo (1603-1868), aimait pratiquer l'art du *shuriken* et y excellait. On ne sait pas exactement quand et comment ont été fabriqués les premiers *shuriken*. Cependant, certaines sources les font remonter à l'époque Sengoku (1467-1568), une période de guerres intestines qui a vu se développer les armes forgées,

et d'autres prétendant qu'elles ont pour origine l'art chinois des armes lancées des temps anciens. Un *shuriken* a une portée lui permettant d'atteindre un ennemi à 14 ou 15 m. De petite taille et de couleur sombre pour le rendre quasiment invisible, le *shuriken* est une arme difficile à éviter pour celui qui en est la cible. Cependant, il ne permet pas d'infliger des blessures mortelles, à moins d'atteindre un point vital. Son principal usage consistait à le lancer pour détourner l'attention avant de donner un coup de sabre, ou de fuir quand il n'était pas utilisé enduit de poison.

Il existe en gros deux types de *shuriken*, le *bo-shuriken* (type bâton) et le *shaken* (type roue). Le choix de la forme varie selon les écoles d'arts martiaux mais ils ont en commun de toujours être de couleur sombre. Leur couleur sombre est donnée avant la trempe, en faisant passer une étoffe de coton sur le *shuriken* brûlant pour le noircir à la suie. Ceci permet aux *shuriken* de ne pas être voyants, les protège de la corrosion, et leur donne une surface rugueuse facilitant leur lancer et permettant plus facilement d'y enduire du poison.

## Les ninjas

Certaines sources font remonter les ninjas à l'époque Asuka (538-710), il y a environ 1400 ans. On disait qu'ils étaient des hommes au service du Prince Impérial SHOTOKU (574-622). Connus sous le nom de « *shinobi* », ils avaient pour mission de recueillir des informations sur la cour impériale. L'utilisation du terme « *shinobi* » apparaît dans les documents historiques qu'après l'époque de Nanbokucho (1336-1392). Le terme « *ninja* » n'aurait finalement été adopté qu'aux environs de 1955.

Le rôle et la perception des ninjas ont évolué avec le temps. Leur principal rôle n'a jamais été le combat. Les « *shinobi* » de l'époque Sengoku (1467-1568) servaient les différents grands seigneurs daimyos et

avaient pour rôle de s'infiltrer en territoire ennemi pour récolter des informations, et communiquer à leur seigneur la situation de l'ennemi. Pour cette raison, il était capital qu'ils soient capables de revenir de mission sains et saufs, et devaient pour se faire maîtriser de nombreuses techniques, notamment le lancer de *shuriken*. L'image populaire des ninjas les représente souvent en train d'espionner, cachés dans les combles d'un château. En réalité, ils se sont généralement mélangés à la population locale et ont recueilli des informations provenant de conversations. Durant la période pacifique d'Edo (1603-1868), leur rôle était de récolter des informations sur la situation politique

des pays voisins pour protéger leur domaine et leur seigneur. Alors les véritables « *shinobi* » disparaissent progressivement à la fin de l'époque d'Edo (1603-1868), l'image inexacte du *ninja* est apparue dans les romans et spectacles. L'image d'un *ninja* mystérieux venant dérober quelque chose revient fréquemment dans ces fictions. La silhouette noire *shuriken* à la main représentée dans le théâtre kabuki ou dans les estampes *ukiyo-e*, a ainsi forgé la représentation actuelle des ninjas. Il en reste cependant que les ninjas restent encore très énigmatiques, mais les recherches se poursuivant, on peut espérer de nouvelles découvertes à ce sujet, un jour.

# Les types de **shuriken**

Il existe en gros deux types de *shuriken*, le *bo-shuriken* et le *shaken*. Constitué d'une longue lame d'acier, le *bo-shuriken* est plus simple à fabriquer et plus puissant que le *shaken* proposé dans diverses formes. L'image la plus communément

répandue de *shuriken* est en fait le *shaken*. Les *shaken* disposent de plusieurs lames sur tout leur pourtour, ce qui leur donne l'avantage de pouvoir blesser l'ennemi visé, quelle que soit la partie entrant en contact avec la cible.



En haut à droite, *bo-shuriken* en forme de stylet, tous les autres sont des *shaken* de diverses formes

# Les manières de tenir et de lancer les **shuriken**

**Prise en main:** En fonction de l'usage souhaité, il existe diverses manières de tenir un *shuriken*. Il n'existe pas de règles particulières, l'important est de réussir à atteindre sa cible, quelles que soient les conditions.

[Bo Shuriken]



[Shaken]



Prise en main 1



Prise en main 2



Prise en main 3

## Lancer

[Hon-uchi]

Il s'agit de la manière la plus orthodoxe de lancer un *shuriken*. Elle consiste à tenir le *shuriken* en arrière de la tête et de le lancer en abaissant le bras en avant.



En garde avec un *shuriken* à la main, face à l'adversaire



Lancer le *shuriken* en ligne droite vers la cible

[Yoko-uchi]

Cette manière consiste à lancer le *shuriken* à partir du côté. Elle ressemble à la manière de lancer les *shuriken* représentée dans les mangas où les ninjas lancent une multitude de *shuriken* successivement. Cependant, cette dernière méthode n'est pas réaliste, car pour être lancé, le *shuriken* doit être pris en main fermement, sans quoi il perd toute efficacité.

[Le port des *shuriken*]

Les *shuriken* étaient portés dans un sac en peau de daim suspendu à la ceinture. Ils pouvaient être dissimulés dans une poche intérieure au niveau de la poitrine pour se protéger des balles ou des coups de sabre en cas d'urgence.

## Remarques de l'éditeur

Comme le numéro précédent, ce 5e numéro du magazine de MMC a pu être publié grâce à la coopération de nombreuses personnes. Nous voudrions donc profiter de cette colonne pour leur adresser nos plus sincères remerciements.

Ce numéro se focalise sur l'industrie aéronautique pour faire suite au numéro 1. La construction des avions mobilise les matériaux et technologies de pointe parmi les plus avancés au monde. Nous vous proposons ici de découvrir des témoignages recueillis sur les sites où sont usinées les pièces utilisées dans la fabrication des avions. Nous espérons ainsi permettre aux lecteurs de percevoir notre excitation, notre engagement et notre plaisir à participer au processus de fabrication de ce secteur. D'autre part, nous avons inclus dans ce numéro un article spécial dédié aux PRFC. Ces nouveaux matériaux font beaucoup parler d'eux. Bien que les PRFC soient relativement récents, nous souhaitons partager avec les lecteurs leur histoire depuis leur création mettant à jour la passion de fabricants japonais à l'origine de leur commercialisation.

L'industrie aéronautique a devant elle un avenir prometteur. Nous espérons que ce numéro permettra à chacun d'en mesurer le potentiel et contribuera à en promouvoir son avancement au Japon et dans le monde.

Rédacteur en chef : Yutaka Nada

Your Global Craftsman Studio Vol. 5  
By Business Strategy Dept.  
Publié par le  
Département Stratégie commerciale,  
Advanced Materials & Tools Company

Toute copie ou reproduction non autorisée du contenu de ce site, des textes et des images est strictement interdite.

# Anecdotes sur les **ninjas**

## 1. Les armes de ninjas

Outre les *shuriken*, les ninjas utilisaient de nombreuses armes. Parmi elles, le *kusari-gama*, une faucille munie d'une chaîne, assez compacte pour ne laisser dépasser qu'un petit bout de manche de la paume de la main, ce qui permettait de la dissimuler dans les vêtements pour servir en cas d'urgence.



## 2. Personnages historiques soupçonnés d'avoir été des ninjas

De nombreux personnages historiques se sont révélés avoir été des ninjas. C'est par exemple le cas du poète BASHO Matsuo (1644-1694), connu comme l'auteur de «Oku-no-hosomichi» et pour avoir parcouru le Japon de long en large, à pied, ou le brigand ISHIKAWA Goemon (1558 ?-1594), à l'image de Robin des Bois, il aurait volé les riches pour donner aux pauvres.



## 3. Les habits des ninjas n'étaient pas de couleur noire

Lorsqu'on évoque les ninjas, on les imagine souvent revêtus d'un costume noir. En fait, ce n'était pas toujours le cas. Un document ancien, le «Shonin-ki», considéré comme l'un des trois principaux ouvrages traitant du *ninjutsu*, l'art des ninjas, mentionne des vêtements de couleur marron ou bleu foncé. À une époque où l'éclairage électrique n'existait pas encore, une couleur foncée proche du noir suffisait amplement à se fondre dans l'obscurité.





**Mitsubishi Materials n'est pas un simple fabricant d'outils**

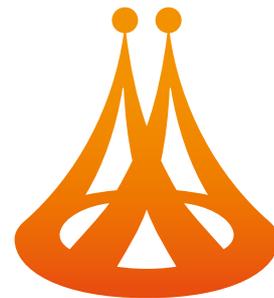
Nous nous engageons à répondre rapidement aux défis lancés par nos clients et à contribuer activement à leur réussite, avec tout notre dévouement d'expert.

Nous ferons tout notre possible pour devenir le seul fabricant d'outils au monde vous offrant « votre studio d'expertise personnel », un service unique à l'intention de nos clients.

Ce studio vous permettra :  
 de trouver des technologies et des produits dernier cri ;  
 de trouver des solutions à tout moment et partout dans le monde ;  
 de partager notre enthousiasme sur les dernières tendances technologiques et innovations produit.

Dans ce studio, nous réfléchissons, partagerons, créerons et élaborerons avec nos clients des solutions passionnantes répondant à leurs besoins spécifiques.

**YOUR GLOBAL CRAFTSMAN STUDIO**  
 MITSUBISHI MATERIALS



**YOUR GLOBAL CRAFTSMAN STUDIO**

**Le sens de notre icône**

Notre icône représente des personnes, debout sur un cercle, se tenant par la main. Le cercle symbolise la terre. Nous avons représenté ces personnes se tenant par la main pour refléter notre engagement à progresser et à réussir « main dans la main », ensemble, avec nos clients et notre désir de travailler en étroite collaboration avec eux afin d'améliorer les performances dans le monde entier. La forme de notre icône incarne plusieurs idées. Elle évoque les « outils de coupe » et associe la lettre dominante « M » rappelant la marque Mitsubishi Materials. Elle incarne également une flamme, symbole notre passion d'expert.