

平成 2 2 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「木工用刃物の高性能・長寿命化に資する金属組織ナノ化技術の開発」

## 研究開発成果等報告書

平成 2 3 年 3 月

委託者： 近畿経済産業局

委託先： 地方独立行政法人大阪市立工業研究所

# 目 次

第 1 章	研究開発の概要	
1 - 1	研究開発の背景・研究目的及び目標 (高度化目標、技術的目標)	2
1 - 2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	8
1 - 3	成果概要	11
1 - 4	当該研究開発の連絡窓口	11
第 2 章	研究開発の成果内容	
2 - 1	工具鋼のナノ組織化	13
2 - 2	機械的特性を向上させる熱処理条件の検討	14
2 - 3	刃物の特性評価	14
第 3 章	全体総括	
3 - 1	複数年の研究開発成果	20
3 - 2	研究開発後の課題・事業化展開	20

## 第1章 研究開発の概要

### 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

近年、国策として木材の利用促進(バイオマス・ニッポン総合戦略における木材の有効利用、及び花粉症対策等)が急がれており、木工業界では伐採・加工量が急速に増加している。これに伴って木工用刃物の需要も増加している中であって、既存の刃物はユーザーから要求される特性(切味、寿命等)を満たせていない状況にある。特に、杉のレース加工においては、加工面の平滑さが重要であるが、僅かな刃先の欠け等が原因となって加工面に傷が発生するため、頻繁な刃物の交換が強いられている。また、近年開発された LVL(Laminated Veneer Lumber)と呼ばれる高強度な積層合板が普及期に入っているが、その硬さ故に最適な加工用刃物が存在しない。木材加工用刃物の刃寿命に対する顧客ニーズが 3000 m / 刃寿命であるのに対し、LVL に対する既存の刃物は約 400 m / 刃寿命である。このような背景から、優れた機械的特性及び鋭利な刃先を有する、長寿命な木工用刃物が切望されている。また、刃物用の材料は合金成分として希少元素を大量に添加していることから高価であり、希少元素の添加に依存しない低コストな刃物作製プロセスが求められている。

刃物用の材料として使用されている工具鋼は、高硬度、高強度、耐摩耗性等を向上させるために高硬度の炭化物が大量に分散した組織を有している。十分な量の炭化物を生成させるためには炭素及び合金成分である希少元素(Cr、Mo、W、V 等)を大量に添加する必要があり、結果として炭化物が粗大化(粒径:5~20  $\mu\text{m}$ )してしまう。木工業界では刃先厚さが 1  $\mu\text{m}$  以下の鋭利な刃物が望まれているが、炭化物の粒径以下に刃先を加工するのは極めて困難である。また、刃先に粗大な炭化物が存在する場合、当該炭化物が切削加工中に脱落すると極めて深刻な欠陥となる(刃物の交換が必要)。刃先に硬さや耐摩耗性を付与するためには合金成分の添加量を増やし、高硬度を有する炭化物の分散量を増加させる必要があるが、靱性を向上させて欠け等を防ぐためには粗大な炭化物を形成する合金成分を低減する必要がある。このような理由から、これまで盛んに研究されてきた組成制御による工具鋼の高性能化は、停滞期に入っているのが現状である。ここで、トレードオフの関係にある上述の特性を両立するためには、工具鋼のナノ組織化がキーテクノロジーになるものと思われる。一般的に、金属材料は結晶粒を微細化することで機械的特性が向上する(Hall-Petch の関係)。また、強化粒子として分散させる炭化物を微細化することができれば、靱性を損なうことなく複合強化を達成し得ることが知られている。一般的には鍛造が工具鋼の組織微細化手法として研究されているが、刀鍛冶に代表されるように熟練技術及び長時間を要するという欠点があり、得られる組織もナノメートルオーダーには達していない。また、自動化プロセスではないため、需要が増加している木工用刃物の短納期化に対応することができない。

そこで本研究開発では、上記のニーズに対応し、図1-1に示すレーザー照射による局所溶融・急凝固と摩擦攪拌プロセス(FSP)による局所的な加熱・強ひずみの導入を複合した新規な複合熱処理技術を開発し、工具鋼板材の一部(刃先に加工する部分)を母材結晶粒径100 nm以下、炭化物径50 nm以下のナノ組織に改質する省エネルギープロセスの確立を目指す。これまでの報告では、摩擦攪拌プロセスによって生成される鉄系材料の再結晶粒径は数 $\mu\text{m}$ 程度である。これは、再結晶によって生成した微細な結晶粒が、摩擦攪拌プロセスの入熱によって粒成長してしまうためである。本研究で提案する複合熱処理技術では、レーザー照射によって微細化された炭化物による当該粒成長の抑制効果(ピン止め効果)が期待できるため、効率的に母材結晶粒を微細化することができるものと思われる。また、適切な後熱処理を加えることで、ナノ組織を有する工具鋼の更なる機械的特性の向上を図る。優れた機械的特性が要求される刃先部分のみをナノ組織に改質し、高性能・長寿命な刃物を低コスト(従来の1/2)で作製する方法を確立する。

< 工具鋼に適用可能な新規組織微細化手法の提案 >

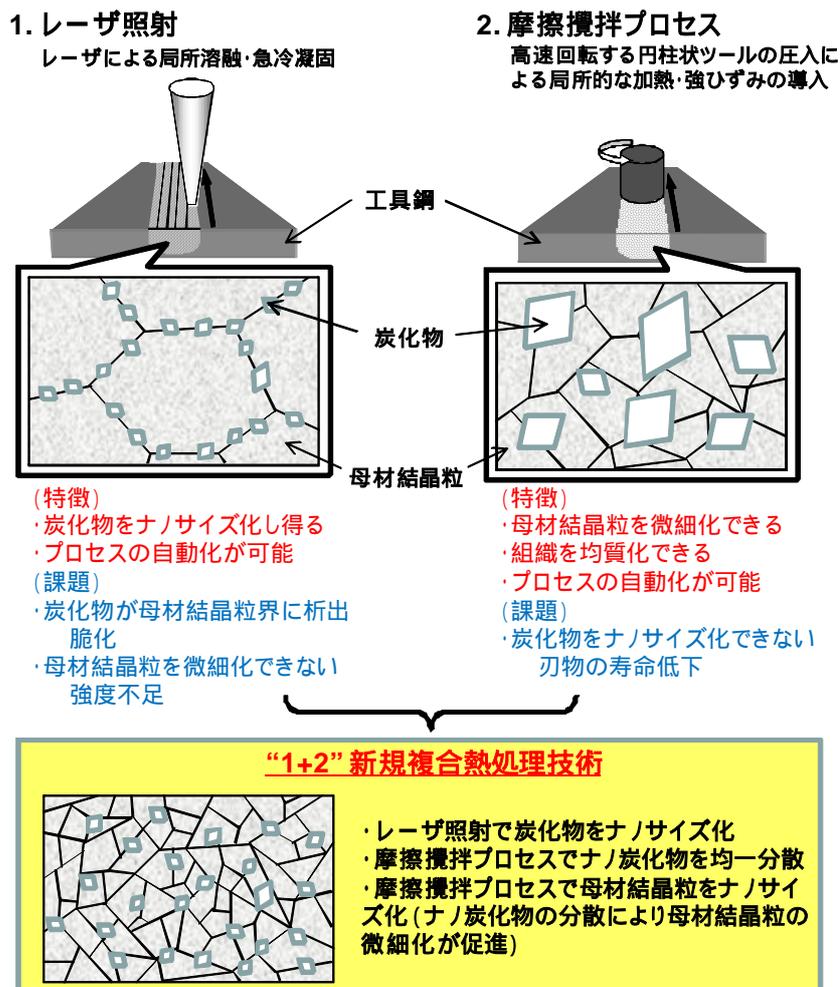


図1-1 複合熱処理技術の概念図

なお、川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）としては以下の項目が挙げられる。

(5) その他 <木工業界>

ア. 高強度化 イ. 高耐久性 ウ. 高精度化 エ. 短納期化 オ. 低コスト化

一方、高度化目標としては、以下の項目を挙げられる。

(5) その他 <木工業界>

イ. 高機能化を可能とする複合熱処理技術の開発

オ. リサイクル性の高い材料の用途拡大を可能とする熱処理技術の向上

カ. 熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術の開発

木工用刃物に関して上記の課題を達成するためには、工具鋼に対する新規な組織微細化手法の確立が効果的である(図1 - 2参照)。工具鋼の組織をナノ化するためには、母材結晶粒の微細化と母材中に分散している粗大な炭化物の微細化を共に達成する必要がある。結晶粒微細化手法としては強ひずみを導入して再結晶を生じさせる方法が一般的であるが、通常の金属材料と比較して高い変形抵抗を有する工具鋼に当該手法を適用するのは困難である。これに対し、工具鋼の粉末を作製した後に当該粉末にひずみを導入し、その後バルク化する手法が提案されている。しかしながら、プロセスが煩雑で長時間を要するのみならず、エネルギー的なロスも大きい。また、作製できる部材は小型のものに限られる。省エネルギー・低コストの観点からは、工具鋼板材の必要な部分のみについて選択的に結晶粒を微細化する手法が望まれる。

＜木工用刃物に関する従来技術と新技術の比較＞

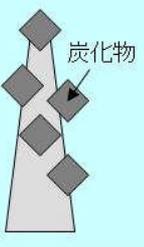
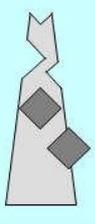
	刃先形状 (使用前)	刃先形状 (使用后)	被加工材 表面形状	課題・特徴
<b>従来技術</b> 高価な材料を大量添加した刃物				(課題) <b>高性能・長寿命化</b> ↓ ・粗大炭化物の微細化 ・刃先強度の向上 ・刃先先端の鋭利さ向上 ・希少合金元素の使用量低減
<b>新技術</b> 最小限の合金元素を添加した安価な材料をナノ組織化した刃物				(特徴) ・炭化物のナノサイズ化 ・母材結晶粒のナノサイズ化 ・刃先先端の高強度化 ・刃先先端の微細加工 ↓ <b>高性能・長寿命化</b>

図 1 - 2 木工用刃物の長寿命・高性能化に資する工具鋼のナノ組織化

炭化物を微細化するためには、(1)炭化物を機械的に破碎するか、(2)母材中に固溶させた炭化物が析出する際に炭化物の粒径を制御する必要がある。機械的な破碎によって炭化物をナノサイズ化させることは現実的ではないため、(2)の手法を検討する必要がある。ここで、溶融した工具鋼の急凝固によって炭化物を微細化することは可能であるが、母材の結晶粒界への炭化物の偏析が大きな問題となる。結晶粒界に偏析した炭化物は材料を脆化させるため、微細化した炭化物を母材中(粒界及び粒内)に均一に分散させることも重要な課題である。現状、ナノサイズ化した炭化物を均一分散する有効な手法は存在しない。

本研究では、工具鋼板材の任意の部分のみを選択的に処理可能な手法として、レーザー処理と摩擦攪拌プロセスを検討する。炭化物の微細化にはレーザー処理が効果的であるが、母材結晶粒のナノサイズ化は期待できない。一方、母材結晶粒の微細化には摩擦攪拌プロセスが

効果的であるが、炭化物のナノサイズ化は期待できない。ここで、レーザー処理の後に摩擦攪拌プロセスを施すことで、炭化物と母材結晶粒を共にナノサイズ化する。

< 研究開発に関する研究開発項目（サブテーマ） >（平成 20～22 年度）

#### 〔1〕工具鋼のナノ組織化

##### 〔1-1〕炭化物の微細化

レーザー照射による急速溶融・急冷凝固プロセスを検討する。工具鋼板材表面にレーザーをフォーカスしてスキャンすることで、部分的に工具鋼を急速溶融・急冷凝固させる。析出する炭化物が粗大化する時間を与えないことで、炭化物の微細化を図る。レーザー形状、スキャン速度、レーザー出力、被処理材の予熱温度等をパラメーターとし、炭化物の微細化に最適なレーザー処理条件を検討する。また、最終的に刃物を作製するためにはある程度の処理領域が必要であることから、レーザー処理を重複させることで処理領域の制御を試みる。

##### 〔1-2〕炭化物の均一分散

レーザー処理によって微細化された炭化物は母材結晶粒界に偏析するため、摩擦攪拌プロセスの強力な攪拌効果を用いて均一分散を試みる。高速回転する円柱状のツールをレーザー処理領域に圧入し、レーザー処理領域内で材料を攪拌することによって炭化物を均一分散させる。この際、ツールによる炭化物の破碎効果によって、炭化物の更なる微細化も期待できる。ツールの回転数、移動速度、ツール形状、荷重等をパラメーターとし、炭化物の均一分散に最適な摩擦攪拌プロセス条件を検討する。摩擦攪拌プロセスを用いた金属材料の組織制御に関してはこれまでも検討されており、例えば、鋳物を部分的に高強度化する場合は母材中に分散している黒鉛を均一分散させない条件で摩擦攪拌プロセスを施す必要がある。しかしながら、本研究においては微細化された炭化物を均一に分散することが必要であり、摩擦攪拌に用いるツールの形状を検討することで強力な攪拌効果を引き出すことが重要になる。また、最終的に刃物を作製するためにはある程度の処理領域が必要であることから、ツールの先端形状を検討することで処理領域の制御を試みる。

##### 〔1-3〕母材結晶粒の微細化

〔1-2〕と同様に、摩擦攪拌プロセスを用いて母材結晶粒の微細化を試みる。工具鋼は変形抵抗が大きいために、圧延等を用いた一般的な強ひずみプロセスを利用することは困難であるが、摩擦攪拌プロセスは板材全体を変形させる必要が無いために適用可能である。摩擦攪拌に用いるツール材質や摩擦攪拌条件に制約があるものの、工具鋼に対する摩擦攪拌プロセスが可能であることは研究協力者によって確認済みである。摩擦攪拌プロセスを施した領域の結晶粒は再結晶によって微細化することが知られており、工具鋼においても同様の効果

が期待できる。レーザー処理によって母材には微細な炭化物が分散しており、当該炭化物のピン止め効果によって、より効果的に母材結晶粒の微細化が達成されるものと思われる。ツールの回転数、移動速度、ツール形状、荷重等をパラメーターとし、母材結晶粒の微細化に最適な摩擦攪拌プロセス条件を検討する。

## 【2】機械的特性を向上させる熱処理条件の検討

### 【2-1】サブゼロ処理条件の検討

工具鋼の機械的特性を向上させるためには、組織を微細化した処理領域をマルテンサイト化する必要がある。組織のナノ化と焼入れを同時に達成し得る最適な摩擦攪拌プロセス条件を模索するが、残留オーステナイト量が多い場合にはサブゼロ処理の追加を検討する。

### 【2-2】焼入れ・焼き戻し条件の最適化

工具鋼は焼き戻しを行うことで二次硬化することが知られているため、レーザー処理及び摩擦攪拌プロセス後の焼き戻しを検討し、機械的特性の向上に最適な焼き戻し条件を明らかにする。

## 【3】刃物の特性評価

### 【3-1】刃立て

木工刃物の刃先の仕上げは通常 # 2000 以上の砥石で研磨する必要があるが、先端部は # 8000 の砥石も使われている。刃先を鋭く研磨する事による切れ味の確保と木材の硬い節などの衝撃に耐える耐衝撃性が求められることから、先端 5 μm の範囲でさらに精密に研磨する必要がある。研磨が粗い場合にはツールマークが原因で欠けを起こす事もあり、刃先加工が寿命を左右することから、超精度の仕上げ加工が出来るレーザー加工機、研磨加工機の使用を検討する。

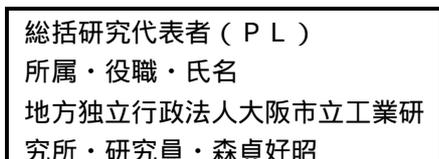
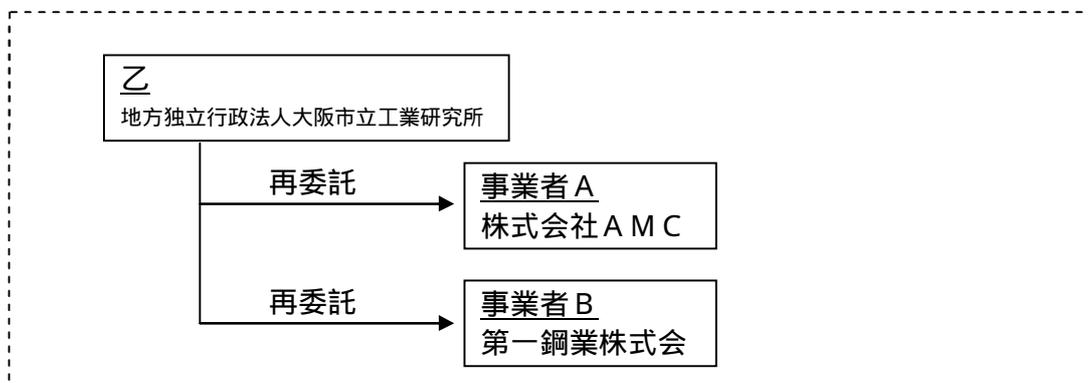
### 【3-2】切削試験

市販の自動鉋装置を用いて、実際の仕様に近い条件でテストを行う。鉋がけ速度、切り込み量、刃先角度等のパラメーターを変えてテストを行い、評価は長さ 1.8 m の LVL 材が鉋装置を通過できなくなった時点で終了し、合計通過距離で評価する。

## 1 - 2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

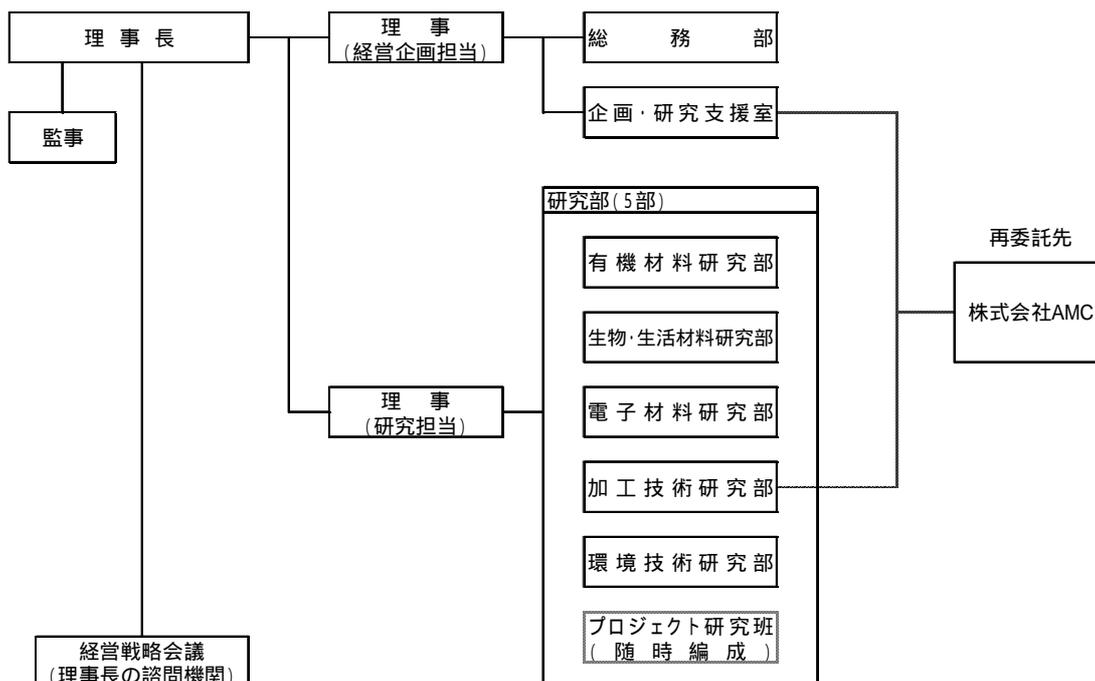
#### 1) 研究組織 (全体)



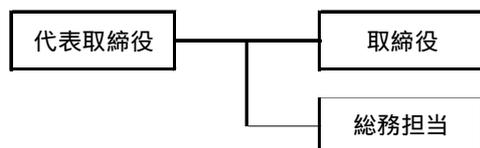
#### 2) 管理体制

##### 事業管理者

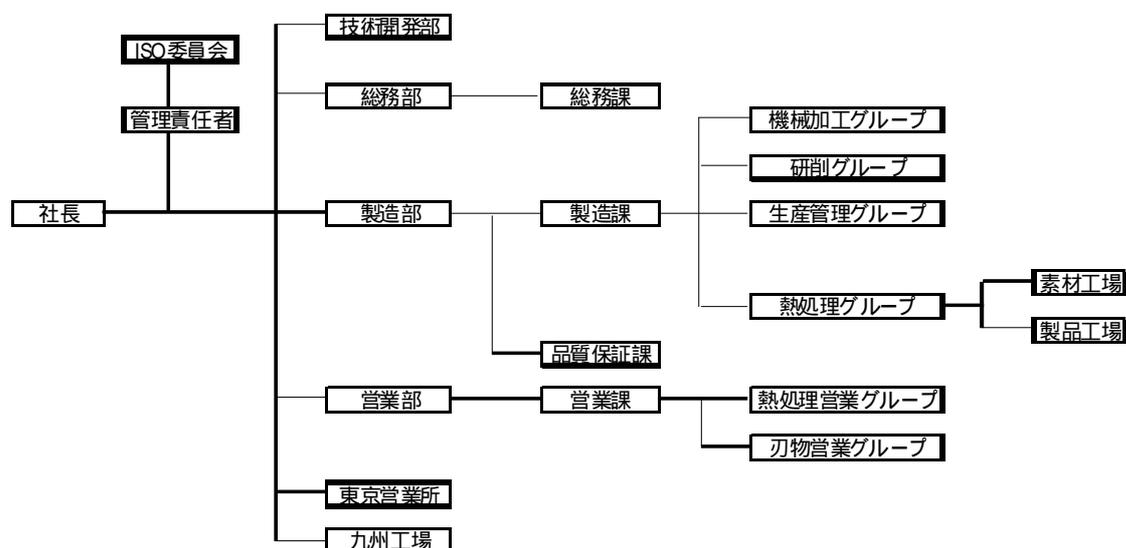
[ 地方独立行政法人大阪市立工業研究所 ]



(再委託先)  
株式会社A M C



(再委託先)  
第一鋼業株式会社



## (2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 地方独立行政法人大阪市立工業研究所

### 管理員

水田 憲男	理事(経営企画担当)兼企画・研究支援室長
安田 朗	総務部員

### 研究員

森貞 好昭	加工技術研究部・研究員
長岡 亨	加工技術研究部・研究員
福角 真男	加工技術研究部・研究主幹

【再委託先】株式会社A M C

水野 雅	代表取締役社長
阿部 源隆	取締役

【再委託先】第一鋼業株式会社

野中 豊	技術開発部長
山下 順一	品質保証課員
作村 貴之	品質保証課員

( 3 ) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】地方独立行政法人大阪市立工業研究所

( 経理担当者 )	安田 朗	総務部員
( 業務管理者 )	小元 涉	総務部長

【再委託先】株式会社A M C

( 経理担当者 )	水野 かをる	総務担当
( 業務管理者 )	水野 雅	代表取締役社長

【再委託先】第一鋼業株式会社

( 経理担当者 )	石森 修治	総務部長
( 業務管理者 )	野中 豊	技術開発部長

## 1 - 3 成果概要

### [1] 工具鋼のナノ組織化

#### [1-1] 炭化物の微細化

レーザの照射条件（レーザ走査速度等）を種々検討した結果、未処理の SKD11, SUS440C, YCK2, SPC5 等に大量に含まれる粗大なクロム炭化物（炭化物径：数  $\mu\text{m}$  ~ 数十  $\mu\text{m}$ ）を微細化することに成功した。微細化したクロム炭化物は母材の結晶粒界に沿った網目状の組織を形成するが、透過電子顕微鏡（TEM）観察によって、数十 nm ~ 200 nm 程度にまで微細化されていることが確認できた。これに対し、SPC5 に含まれるバナジウム炭化物はレーザ処理によってある程度微細化されるものの、ナノサイズ化することは困難であり、数  $\mu\text{m}$  のものが多数残存した。ここで、SPC5 粉末を基板表面にレーザクラディングすることで、バナジウム炭化物をクロム炭化物と同程度まで微細化することに成功した。また、レーザ処理及びレーザクラディングに加えて摩擦攪拌プロセスを施すことにより、炭化物を 50 ~ 100 nm に微細化することに成功した。炭化物サイズは当初目標値の 50 nm 以上のものも含まれるが、概ね目標値を達成できている。

#### [1-2] 炭化物の均一分散

ツール底面に長さ 0.5 mm、4 mm のプローブを有するツール及びフラットツール（プローブ無し）を用いて、レーザ処理によって炭化物を微細化した領域に対して摩擦攪拌プロセスを施した。レーザ処理後の炭化物は母材結晶粒界に沿って偏析しているが、摩擦攪拌プロセスを施した領域に炭化物の偏析は認められず、炭化物が母材中に均一分散していることが確認された。また、摩擦攪拌領域の深さはツールに備わったプローブの有無（もしくは長さ）で制御できることが明らかとなった。また、ツールがレーザ処理領域とレーザ未処理領域を同時に攪拌した場合、微細化されていない粗大な炭化物を摩擦攪拌領域に巻き込んでしまうため、ツール位置の制御が重要であるとの指針を得た。以上の結果から、微細化した炭化物を摩擦攪拌プロセスにより均一分散することを目指した当初目標は十分に達成されている。

#### [1-3] 母材結晶粒の微細化

レーザ処理によって炭化物を微細化した領域に対して摩擦攪拌プロセスを施し、当該領域の母材結晶粒径を透過型電子顕微鏡（TEM）で評価した。レーザ処理後の母材の結晶粒径が数  $\mu\text{m}$  であるのに対し、摩擦攪拌プロセス後の母材結晶粒は炭化物を多く含有する材料（SKD11, SPC5）で 100 ~ 200 nm に微細化されていた。炭化物含有量が少ない YCK2 等では、数  $\mu\text{m}$  の微細化に留まった。摩擦攪拌プロセスの条件や材料組成を更に検討す

ることで、母材結晶粒径を更に微細化できる可能性があるが、既に母材結晶粒径の当初目標値である 100 nm を概ね達成できている。

## [2] 機械的特性を向上させる熱処理条件の検討

### [2-1] サブゼロ処理条件の検討

レーザー処理及び摩擦攪拌プロセスを施した SKD11 を液体窒素中で約 1h 保持（超サブゼロ処理）したところ、～980HV のビッカース硬度を示した。この値は当初の目標値である 1000HV を概ね達成できている。

### [2-2] 焼入れ・焼き戻し条件の最適化

摩擦攪拌プロセスによって部分的に焼入れが達成されるため、再度の焼入れ処理は必要ないことが明らかとなった。また、焼き戻しよりも高硬度化が期待できる手法として、窒化処理を検討した。粗大なクロム炭化物を含有する SKD11 は窒化を施すとカモメマークと呼ばれる異常窒化組織が出現して脆化するが、レーザー処理及び摩擦攪拌プロセスを施してナノ組織化した SKD11 は非常に良好な窒化組織を有し、当該領域のビッカース硬度は～1200HV を示した。

## [3] 刃物の特性評価

### [3-1] 刃立て

レーザー処理及び摩擦攪拌プロセスを施した種々の材料を用いて小型のベニアスライサー及び鉋を試作した。また、比較材として未処理（受け入れまま）の各種材料を用いて鉋を試作した。レーザー処理及び摩擦攪拌プロセスを施した材料に関しては、適切に加工を施すことで、改質部を刃先とする木工用刃物を製造することができた。

### [3-2] 切削試験

節の存在や含水量の違いによって材質にばらつきがある木材に代えて、均質なポリプロピレン（PP）樹脂を被削材として用いた。各種試作刃の耐久性試験を行ったところ、適切な処理（レーザー処理、摩擦攪拌プロセス、サブゼロ処理）を施した刃は市販の高級鉋と比較して極めて優れた耐久性（少ない刃先後退量）を示した。

## 1 - 4 プロジェクト連絡窓口

〒536 - 8553 大阪市城東区森之宮1丁目6番50号

地方独立行政法人大阪市立工業研究所

総務部 安田 朗

## 第2章 研究開発の成果内容

### 2 - 1 工具鋼のナノ組織化

代表的な合金工具鋼である SKD11 の板材 ( 17 mm × 175 mm × 230 mm ) を試供材として用いた。半導体レーザー ( 波長 : 810-980 nm ) の照射によって板材表面近傍を溶融・凝固させることで母材中に分散している粗大な炭化物を微細化した後、摩擦攪拌プロセスによって炭化物の均一分散及び母材結晶粒の微細化を図った。レーザーの照射条件は出力 1 kW、焦点位置を試料表面、走査速度 1000 mm/min、送り量 0.7 mm とし、摩擦攪拌プロセス条件はツール回転速度 400 rpm、ツール移動速度 400 mm/min とした。

図 1 に各種 SKD11 の OM 写真を示す。未処理の SKD11 には ~ 数十  $\mu\text{m}$  の粗大な炭化物が確認されるのに対し、レーザー処理後の炭化物は 1  $\mu\text{m}$  程度まで微細化されている。しかしながら、微細化された炭化物が線状に並んで存在している部分が多く観察された。これは、レーザー溶融によって母材に固溶した炭化物が冷却過程で母材の結晶粒界に析出した為であると思われる。また、硬度はレーザー処理によって、受入材の 271 HV から 473 HV に上昇した。摩擦攪拌プロセスのみを施した場合、高速回転するツールの破砕効果によって、炭化物の形状が球状になっている。しかしながら、粒径は 5  $\mu\text{m}$  程度のものが多く、レーザー処理と比較して顕著な微細化効果は認められなかった。これに対し、レーザー処理後に摩擦攪拌プロセスを施した SKD11 には粗大な炭化物は全く認められず、また、摩擦攪拌プロセスの攪拌効果によって均質な微細組織となっている。攪拌部の SEM 写真から、炭化物及び母材結晶粒がナノメートルオーダーにまで微細化されているのが確認できる ( 図 2 )。レーザー処理と摩擦攪拌プロセスを組み合わせることにより、攪拌部の硬度は 922 HV にまで上昇した。

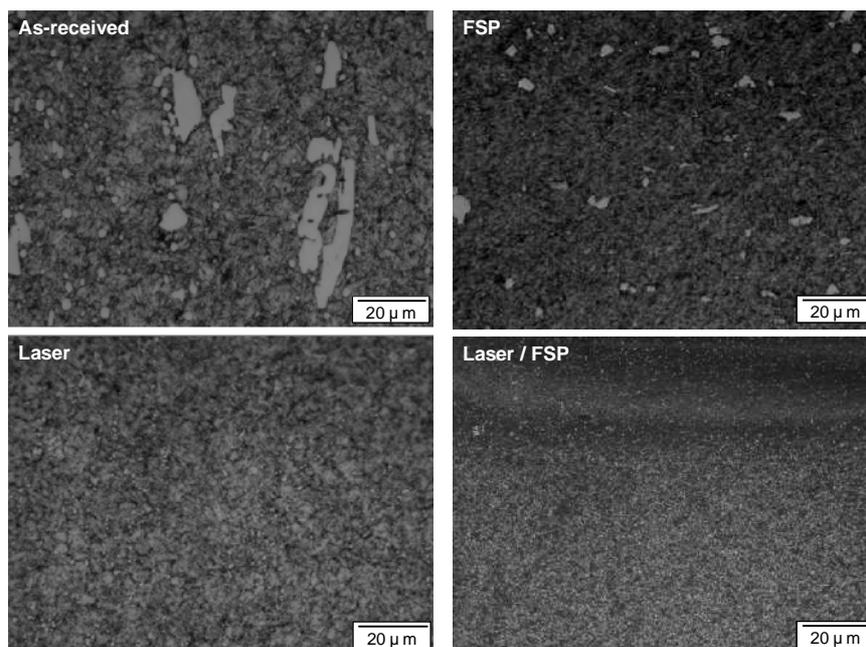


図 1 各種 SKD11 の OM 写真

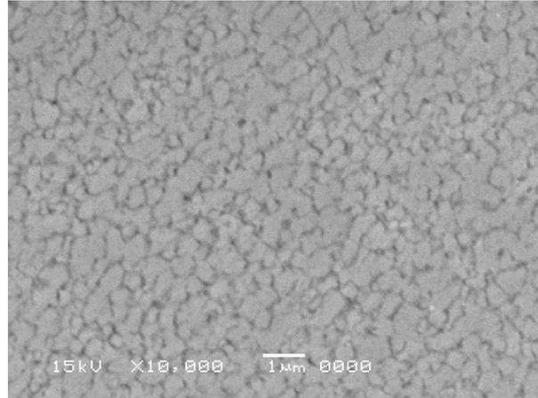


図2 攪拌部のSEM写真（レーザー処理 + FSP）

## 2 - 2 機械的特性を向上させる熱処理条件の検討

試供材として、SKD11の板材（17 mm × 175 mm × 230 mm）を用いた。レーザーの照射条件は出力1 kW、焦点位置を試料表面、走査速度1000 mm/min、送り量0.7 mm（走査回数15）とし、板材表面に急凝固領域を形成させた。当該急凝固領域に対して摩擦攪拌プロセスを施し、組織微細化領域を形成させた。摩擦攪拌プロセスに用いたツールは超硬合金製であり、ツール回転速度400 rpm、ツール移動速度400 mm/minの条件で摩擦攪拌プロセスを施した。摩擦攪拌プロセス後、直ちに試料を液体窒素に浸漬させ（浸漬時間1h）、超サブゼロ処理を施した。

超サブゼロ後における攪拌部は948～982 HVと高い硬度を示しており、目標としていた1000 HVをほぼ達成できている。超サブゼロ処理を施さない場合の硬度は850～900 HVであり、超サブゼロ処理によって硬度が約100 HV上昇することが明らかとなった。超サブゼロ後においても、レーザー処理のみの領域及び未処理の領域の硬度はレーザー処理と摩擦攪拌プロセスを共に施した領域の硬度よりも大幅に低い。これらの結果から、レーザー処理と摩擦攪拌プロセスによる組織微細化処理後に超サブゼロ処理を施すことが、工具鋼（SKD11）の硬度上昇に効果的であることが分かる。

## 2 - 3 刃物の特性評価

試供材として、SKD11等の板材（17 mm × 230 mm × 230 mm）を用い、20 mm幅のレーザー処理を施した。レーザーの照射条件は出力1 kW、焦点位置を試料表面、走査速度1000 mm/min、送り量0.7 mm（走査回数15）とし、板材表面に急凝固領域を形成させた。また、当該急凝固領域に対して超硬合金製ツールを用いて摩擦攪拌プロセスを施し、組織微細化領域を形成させた。摩擦攪拌プロセス後、直ちに試料を液体窒素に浸漬させ（浸漬時間1h）、超サブゼロ処理を施した。超サブゼロ処理を施した試料を刃物形状に加工し、刃先領域（レーザー + 摩擦攪拌プロセスを施した領域）の微小硬さを測定した。測定はマイクロビッカー

ス硬さ試験機を用いて行い、測定荷重は 300 gf、荷重保持時間は 15 s とした。なお、切削試験の結果を市販の鉋と比較するために、試作した鉋の形状は購入した高級鉋（以後、市販高級鉋と称する）と同一に加工した。具体的には、三次元形状計測装置を用いて市販高級鉋の形状（特に刃先形状）を精密に測定し、当該データを基に試作品の加工を行った。測定によって得られた形状を図 3 に示す。

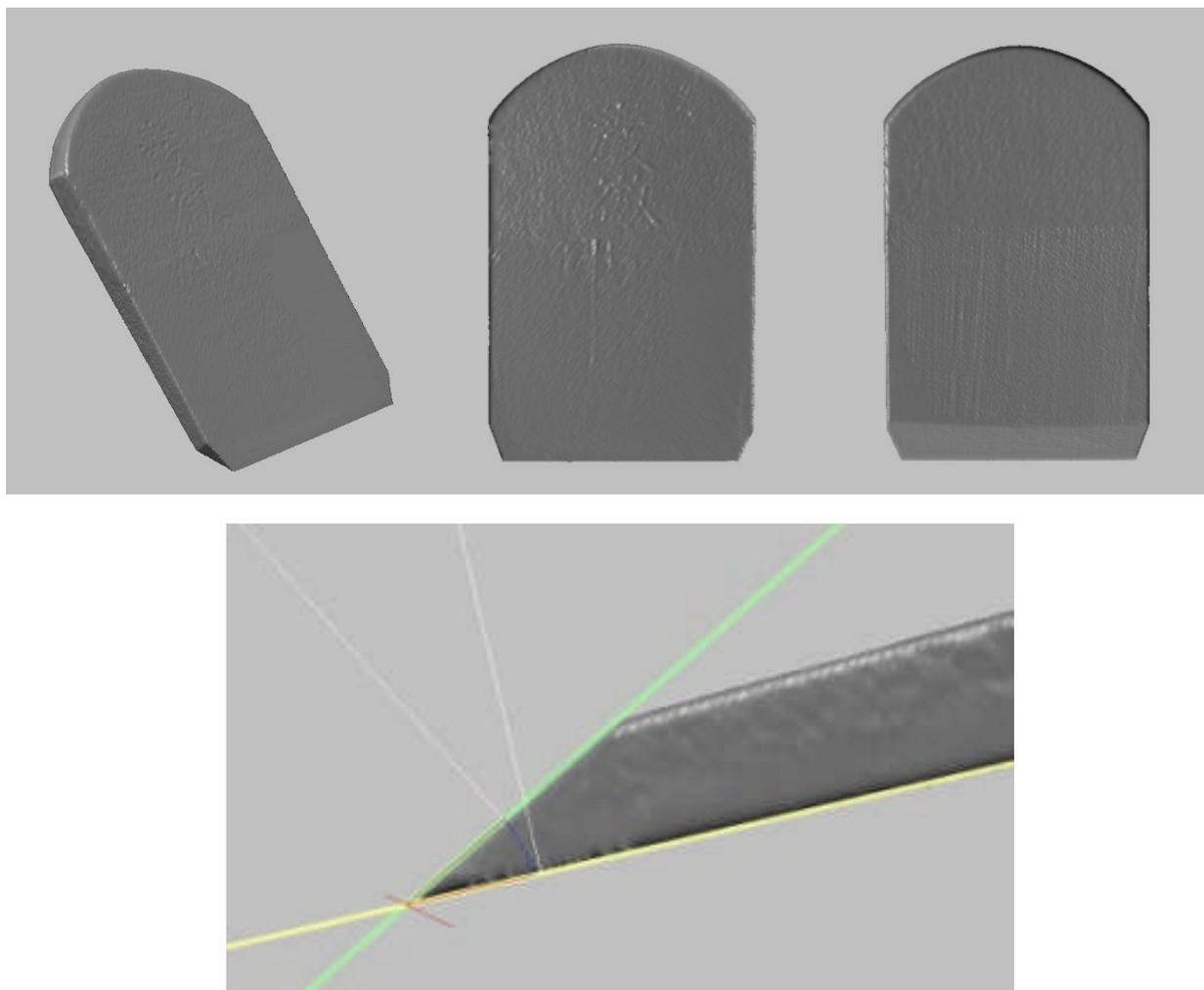


図3 市販高級鉋の形状測定結果

また、各種処理が刃物の性能に及ぼす影響を明確にするために、未処理（受け入れまま）の SKD11 材及びレーザ処理と摩擦攪拌プロセスのみを施した SKD11 材（サブゼロを除く）を用いた鉋を同様の方法で製造し、比較品とした。

試作した SKD11 製鉋の刃先断面写真を図 4 示す。数  $\mu\text{m}$  ~ 数十  $\mu\text{m}$  のクロム炭化物が大量に分散しているのが確認できる。刃先近傍にも粗大なクロム炭化物が散見され、当該クロム炭化物は鋭利な刃先の形成を困難にするだけでなく、脱落すると深刻な欠陥となり、刃物の寿命を短くしてしまう。

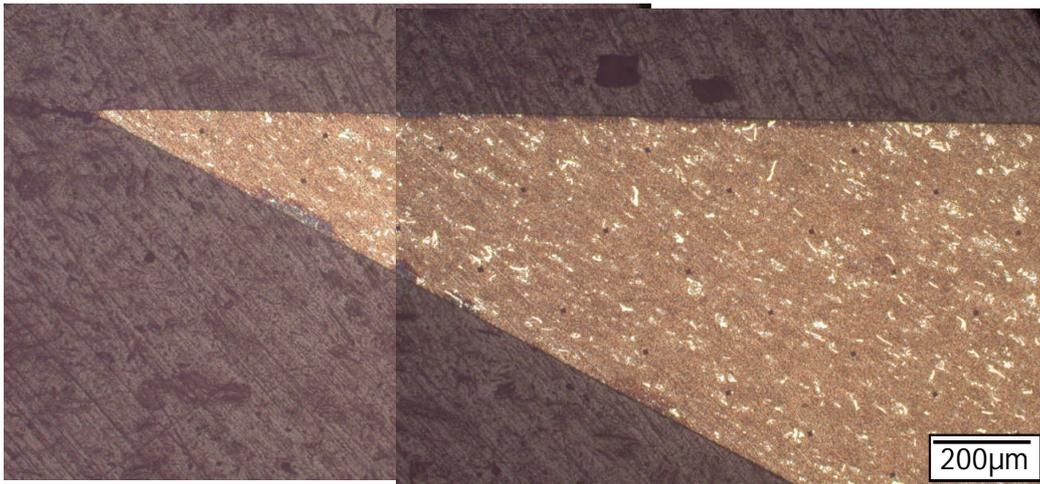


図4 SKD11 製鉋の刃先断面写真

試作した SKD11 製鉋の刃先硬度分布を図5に示す。当該鉋はレーザー処理や摩擦攪拌プロセスを施すことなく、SKD11 板材を全体焼き入れしているため、硬度は全体にほぼ均一の値（約 730 HV）を示している。

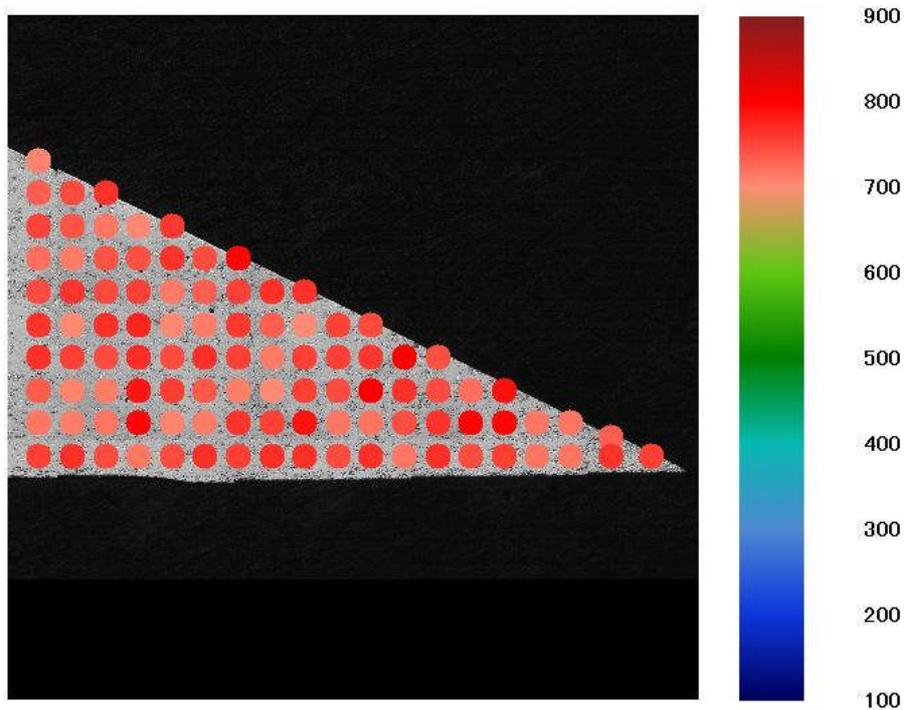


図5 SKD11 製鉋の刃先硬度分布

試作した SKD11 製鉋（レーザー処理 + 摩擦攪拌プロセス + サブゼロ処理）における各領域の組織写真を図6に示す。未処理部、レーザー処理部、及びレーザー処理 + 摩擦攪拌プロセス部の3つの領域が確認された。未処理部には粗大なクロム炭化物が存在するのに対し

し、レーザー処理部及びレーザー処理 + 摩擦攪拌プロセス部には粗大な炭化物が存在しない。また、レーザー処理部では炭化物がネットワークを形成しているが、レーザー処理部 + 摩擦攪拌プロセス部では微細な炭化物が均一に分散している。レーザー処理 + 摩擦攪拌プロセス部が刃先として用いられており、当該領域には粗大な炭化物は存在していないことが確認できる。

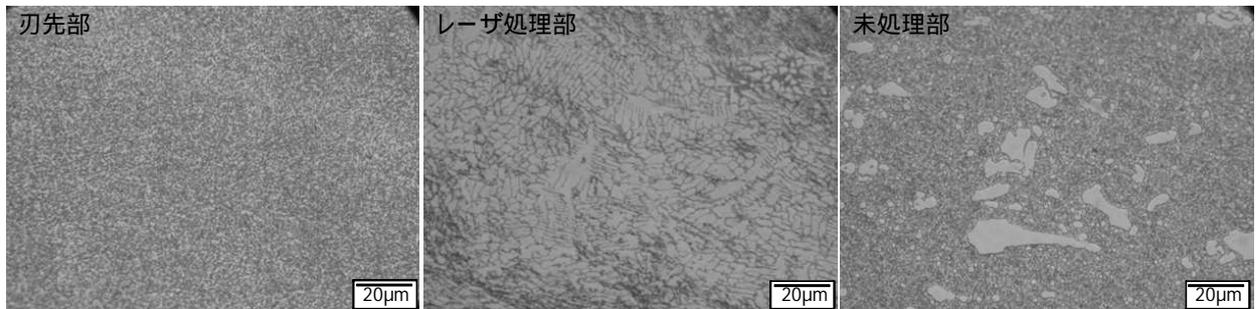


図6 SKD11 製鉋（レーザー処理 + 摩擦攪拌プロセス + サブゼロ処理）の組織写真

刃先硬度分布を図7に示す。未処理部では～300 HV、レーザー処理部では～650 HV、レーザー処理 + 摩擦攪拌部では～1050 HV となっている。最も硬いレーザー処理 + 摩擦攪拌部が刃先として用いられており、効果的な構成となっていることが分かる。なお、刃先の硬度～1050 HV は通常の熱処理（焼入れ焼き戻し）では得られない値である。

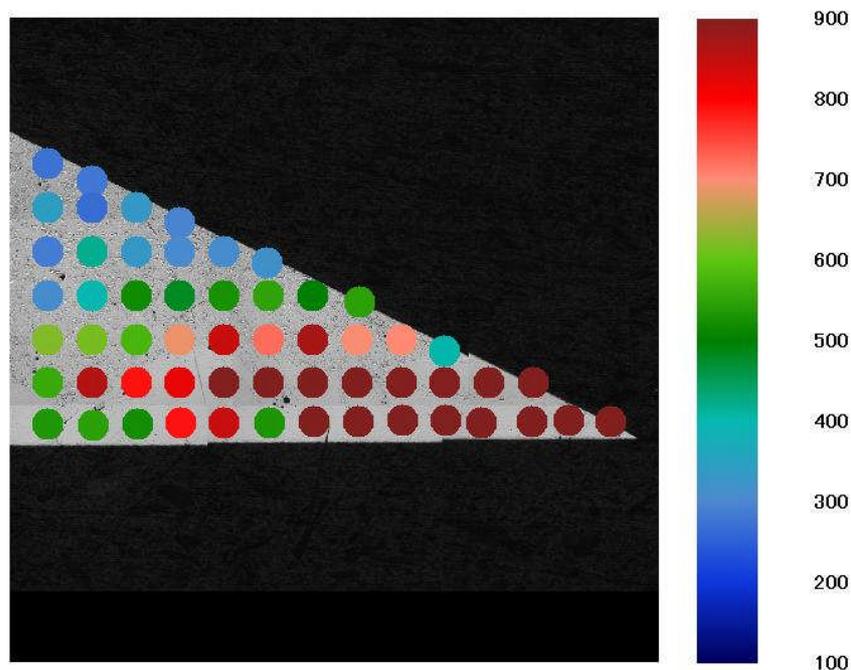
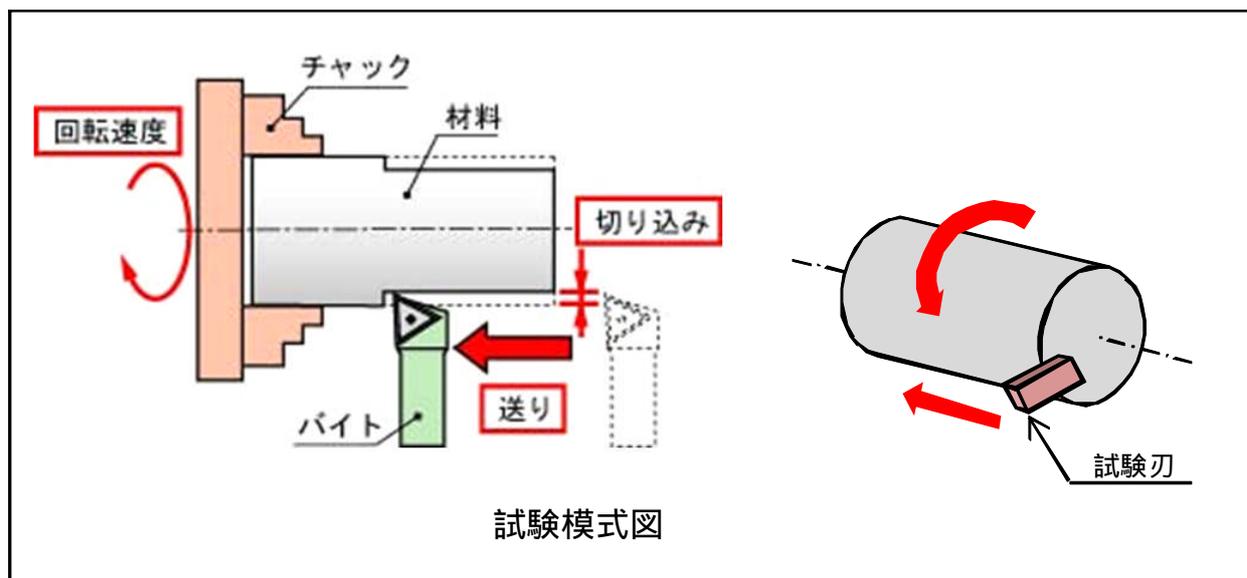


図7 SKD11 製鉋（レーザー処理 + 摩擦攪拌プロセス + サブゼロ処理）の刃先硬度分布

### < 切削試験方法 >

切削試験の概略を図 8 に示す。汎用旋盤を用いて鉋の切削性能及び耐久性を評価した。ここで、木材には節の存在や含水量の差異等のばらつきが存在し、試作した鉋の切削性能に関する定量評価が困難である。よって、木材に比較的近い機械的特性を有すると共に均質な PP (ポリプロピレン) 樹脂の円柱状塊を被削材として用いた。



使用旋盤 : LEO-80A(テクノワシノ製)  
試験材料 : PP樹脂(円柱状塊)  
切削速度 : 400m/min, 200m/min  
送り速度 : 0.1mm/回転  
切り込み : 4mm, 2mm  
回転速度 : 切削速度を固定する為、材料径により500~2000rpmにて設定  
切削時間 : 5分間隔で刃先の摩耗度合を観察

試験材料を回転方向に対し垂直にチャックにて固定する。  
バイトで表面を切削し回転時に材料外径にブレが生じないように微調整する。  
試験刃を設置し、切削を開始する。  
5分置きに刃先の摩耗度合をSEMにて観察する。

図 8 切削試験の概略

図 9 に切削速度 400 mm/min で 5 分間切削試験を行った後の各種鉋の刃先形状、図 10 に刃先後退距離をそれぞれ示す。市販高級鉋と比較して、今回試作した鉋はいずれも優れた耐久性を有していることが分かる。特に、処理条件を最適化した SKD11 製鉋 (レーザ + FSP + サブゼロ) 及び YCK2 製鉋 (レーザ + FSP) は殆ど刃先形状が変化していな

い。なお、大量にバナジウム炭化物を分散させた新規材料（AMC-V10）を用いて試作した鉋については若干の欠けが確認されるが、切削時間を長くしてもそれ以上の刃先後退は極めて緩やかであり、厳しい耐摩耗特性が要求される用途において利用価値が大きい。本事業においては木工用刃物の耐久性を約7.5倍にすることを目標としていたが、図10に示す刃先後退距離から判断すると、十分にその目標を達成できているものと思われる。

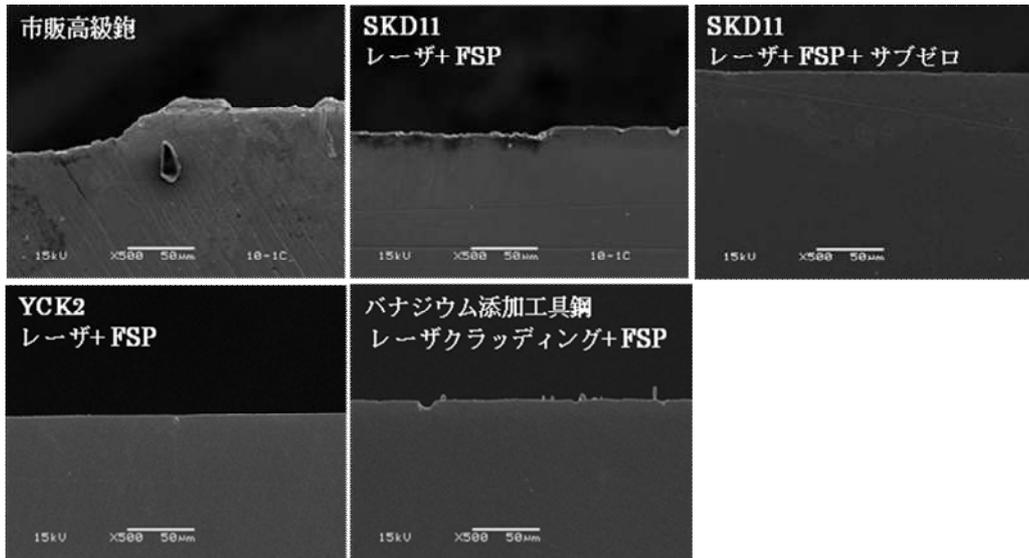


図9 切削試験後の刃先形状比較

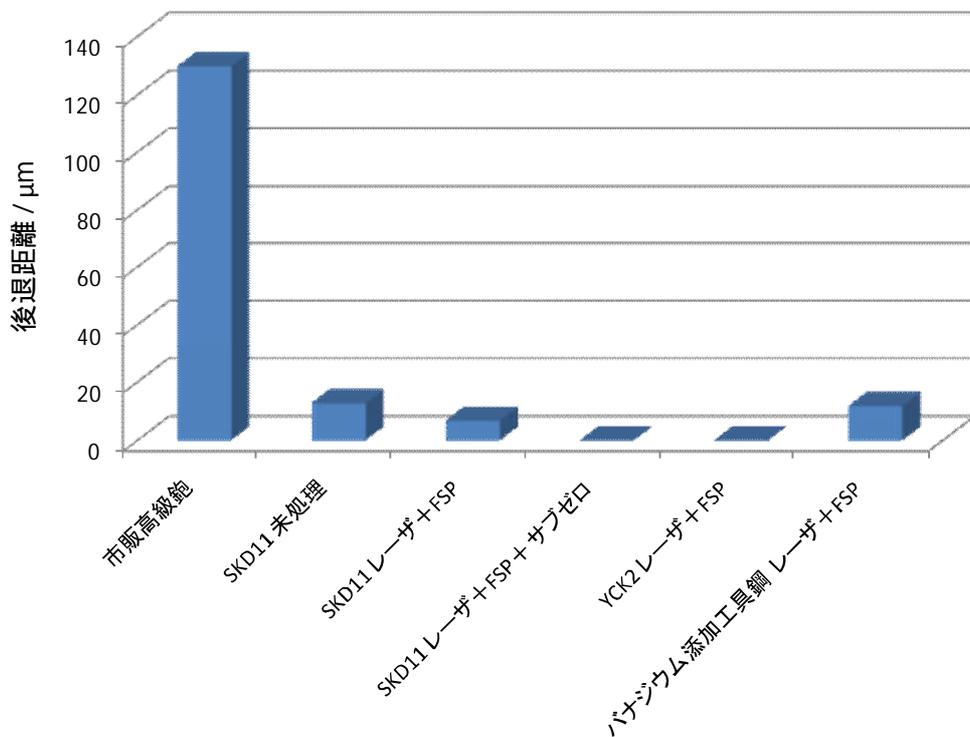


図10 切削試験後の刃先後退距離

## 第3章 全体総括

### 3 - 1 複数年の研究開発成果

種々の工具鋼板材の任意の領域について、炭化物及び母材結晶粒径を微細化する技術を確立した。また、ナノ組織化した領域は、通常は発揮し得ないレベルの高い硬度を示すことが明らかとなった。当該技術を用いて種々の鉋およびベニアスライサーを試作し、刃物の特性評価を行ったところ、適切な処理を施した材料を用いて製造した刃物の刃先は微細ナノ組織を有すると共に未処理材では発現し得ない程の高硬度を有しており、切削試験においても優れた刃先耐久性を示した。対象となる被削材に応じて多少の改良は必要であるが、当初目標とした高性能・長寿命刃物の開発に成功したものと考えている。

### 3 - 2 研究開発後の課題・事業化展開

刃物の高性能化・長寿命化に資する工具鋼ナノ組織化技術を確立することに成功したが、当該技術は木工用刃物以外にも幅広く用いることができると思われる。よって、工具鋼ナノ組織化技術を十分に活かすことができる事業領域を開拓することが第一の課題である。当該課題に対しては、独自のネットワーク及び外部機関を利用して、引き続き販路開拓を進める。一方、木工用刃物（特にベニアスライサー）については製品が大きいため、摩擦攪拌用ツールがプロセス中に劣化（摩耗、変形、破断等）してしまうことも問題である。また、品質管理の伴った量産体制の確立も重要であり、重要な設備（摩擦攪拌装置、レーザー照射装置等）の導入及び外注加工先等の選定を行うことが必要である。