

- ◆ 第 17 回通電焼結研究会 (旧称: SPS 研究会)
 - ・平成 24 年 12 月 3-4 日
 - ・宮城県仙台市 東北大学金属材料研究所 講堂

” 第五世代の SPS ” — 産業界へ SPS 技術普及のため何が必要か? —

株式会社エヌジェーエス
嶋田 正雄

1. はじめに

放電プラズマ焼結 (SPS) 技術が登場し 24 年目に入った。今日では本年 10 月開催された PM2012 国際会議 (横浜) に見る如く、先進新材料の合成技術と学術界での有用性評価は日本・米国・欧州・中国・アジア諸国・ロシアなど広く世界に認知されたと言える。SPS により実用製造された代表事例とし、WC 系バインダレス超硬によるデジタルカメラ用非球面ガラスレンズ金型、WC/Co 系 IC ウェハー切断用ダイヤモンドスライサー (薄刃切断ブレード)、サンドブラスト用ファインセラミックスノズルなどが挙げられる。各々長寿命・高耐摩耗性材料の金型・工具分野で販売されてきた。また、IT 関連ではハードディスクの高性能・高集積・高密度化に適した貴金属系スパッタリングターゲット材料、日用製品用では Ti-Ta 系硬質製品コーティング用ターゲット材料なども実用に供している。これら市場状況と技術改良の変遷を背景に、近年産業界から SPS による FGM 化・多機能・高機能・大形焼結・三次元ニヤネットシェープ成形および高生産性への要望が日々高まってきている。しかしながら、産業界の製品製造は未だ限定的であり広く普及しているとは言い難い状況にある[1,2]。

SPS プロセスは“加工”とし『焼結加工』『接合加工』『表面改質』『合成』の 4 分野に拘わる技術である。ナノ材料、FGM や各種複合系材料への適用範囲が極めて広く、誰でも容易に作製できる。6-7nm の酸化物系セラミックス原料粉を粒成長抑制し 10-15nm の高密度バルク体へ固件事例、FGM 製造ではセラミックス-金属系 FGM、ポリマー/金属系 FGM、WC/Co 系傾斜機能性超硬材料への応用などがあり、更なる実用ナノ、FGM 製造システムへの発展が期待されている。2008 年にフランス/CNRS の Dr.J.Galy から“SPS Chemistry”という提唱があり、PM2012 でドイツ/マックスプランク研究所 Dr.Y.Grin から同様なアピールがあった。Flash Sintering がロシア MEPHI から発表され、この分野は 5 年程前から研究者が増え興味深い傾向である。また、SPS 法は難焼結材料のチタン合金の粉末焼結に効果的特徴がありバイオ・航空宇宙関連部材への応用開発が進んでいる。チタン合金と SiC ファイバーとの複合材料 (MMC)、また、カーボンと Al/Cu 複合系超放熱材料、高効率熱電発電素子の製造などにも極めて有望である。一方、SPS 装置ハードウェアは 2010 年に入り第四世代型 SPS から、製造コストを重視した第五世代の「カスタム SPS」時代へ学術研究向けと併せ移行し始めてきている (図 1)。

本講演では最近の SPS 技術動向と R&D 型ビジネスへの展開について紹介する。

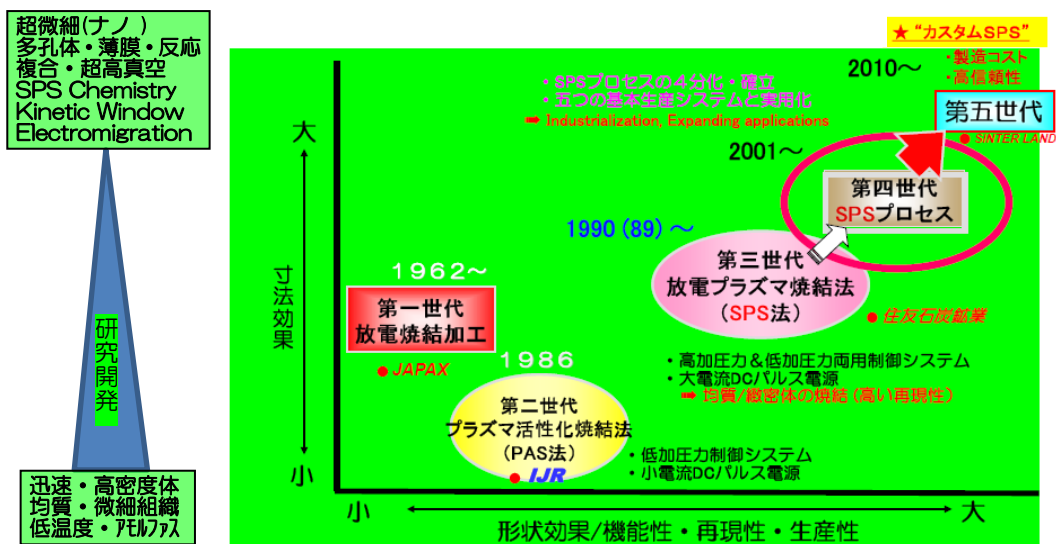


図 1 第五世代の SPS へ “ SPS 技術発展過程の概念図 ”

2. 産業界からのデマンドと実用化例

表1はSPS法を用い実用化を目指し研究開発されてきた代表的な用途事例である。様々な分野でSPS法の応用は検討されている。

①～⑩項は実際に製造され販売された(最終段階/第4段階)製品例である。[11]～[20]項は開発途上で第3～2段階を進行中あるいは中途断念したもの。また、(21)～(30)は近い将来へ向け開発着手し第1～2段階途上にあるものなどの事例である。ここで留意すべきは、多くの上場企業が物性に優れた良い新材料や製品開発に成功しながら実用化を断念してきている。

なぜだろうか?ここに「第五世代SPSシステム」が必要とされる由縁がある。一方、なぜ実用化に成功した企業がありながら産業界へ幅広く普及していかないのだろうか?ここには新材料・新製品・新技術の縛りがあると考えられている。即ち、前者の要因は“最終製品コストに合わない”からであり、後者の要因は、先行成功企業は自らが開拓した事業を同業他社に渡したくないという極めて現実的実利的な当然の経営戦略と目的が存在するからである。誰にも成功した加工ノウハウを開示したくないという実情があり、一般普及を妨げる要因となっている。SPS装置メーカーの怠慢が技術発展を遅らせてきたともいえる。企業の生産ライン製造者側はより早くより安くより良いもの(高品質)の大量生産を追求している。「素材からモノづくりを変える!!」・・・SPS技術の迅速焼結特性はこのデマンドに合致した優れた生産システムの提供と新産業の創出が可能なのである。製品コスト・研究目的に合致した「カスタムSPS=第五世代システム」の展開が産業界へSPS技術普及促進のひとつのターニングポイントになると考えている。

図2に近年の産業界からSPS技術に対する要望を示した。

表1. SPSの代表的な製品化用途例

<SPS 技術応用事例>	
①	スパッタリングターゲット材料
②	非球面ガラスレンズ金型(バインダーレス超硬) ・ pure WC 系 ・ pure SiC 系
③	打ち抜きプレス金型: IC リードフレーム型、電子部品型
④	異形超硬線引きダイス
⑤	薄刃ダイヤモンドカッティングブレード: WC/Co 系、Cu 系など
⑥	メタルボンドダイヤモンド工具
⑦	セラミックスノズル: Al ₂ O ₃ 系、B ₄ C 系
⑧	押し出し機用超耐磨スクリュー (溶接可能 FGM 超硬)
⑨	ホモジナイザー部品: Si ₃ N ₄ セラミックス系、WC/Co 超硬系他
⑩	製缶絞り型 (超微粒超硬)
[11]	プレーキパッド部品
[12]	セラミックスベアリング
[13]	ヒートスプレッダー (超放熱部品・超高熱伝導率材料): Al-CF/CNT 複合材
[14]	チタン合金系多孔質体人工関節
[15]	チタン合金部品: 機械部品、遊具部品、ゴルフクラブ他など
[16]	ジュエリー宝飾品
[17]	CMP ドレサラー
[18]	各種耐食・耐磨耗部品
[19]	各種冷却水内臓構造プラスチック金型 (SPS 接合法)
[20]	冷却構造付きブラ型用スプルー (SPS 接合法)
(21)	携帯電話用アイソレータ (極薄フェライト磁石)
(22)	原子力発電炉体の放射線遮蔽板 (Al/B ₄ C 複合材)
(23)	自動車・家電部品用 Al-Si 系ナノ結晶構造の超塑性材料
(24)	高発熱ラシブ (ガラス/タンクステン系 FGM)
(25)	3Dダイカスト金型
(26)	熱電半導体 [ペルチェ冷却素子、ゼーベック発電素子]
(27)	バイオ材料 (人工骨、人工歯根): アパタイト系、Ti 系、FGM 系など
(28)	超微小細穴加工部品 (SPS 接合法): ノズル、直線穴、曲がり穴など
(29)	放射性廃棄物質の放射能封じ込め固化
(30)	水素吸蔵合金/リチウムイオン電池材料/電気自動車用電極/誘電体など

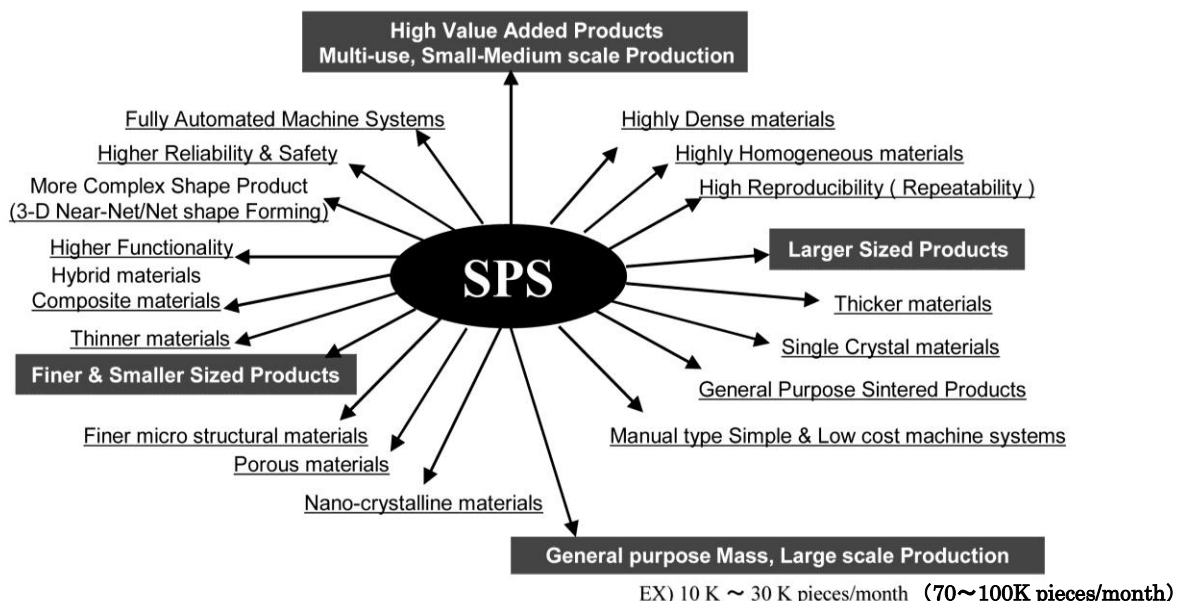


図2 SPS技術に対する最近の産業界からの要望

3. 国内外におけるSPSメーカーの発展とJASCの登場

現在、パルス通電加圧焼結装置 (SPS) メーカー数は全世界 14 社 (日本 6 社、米国 3 社、ドイツ・韓国各 1 社、中国 3 社) に広がり、各国で地元ローカルメーカーが販売を伸長させている。ホットプレス、HIP、常圧真空炉・雰囲気炉、連続炉などを製造している既存焼結炉メーカーが新たに次々参入してくる状況にある。今後は、更に多くの装置メーカーとユーザーが、単独あるいは相互協力により切磋琢磨し、ハード・ソフトウェア技術が洗練され、改良と高度化および用途開発が進み、図2に示した産業界からの要望に応え発展成長していくものと予測されている。表2は平成 24(2012)年 10 月現在の各国パルス通電加圧焼結機メーカー名と所属国一覧表である。

他方、SPS ユーザー支援を旗印に JASC (Japan Associates of SPS Consortium)「日本 SPS コンソーシアム」という企業連合体の“SPS 受託加工センター”ネットワークが構築され、本年 10 月 PM2012 国際会議&展示会を機に発足した。SPS 装置メーカーを有する世界最大の SPS 加工センターとして民間企業のみならず大学・国立研究機関とタイアップした SPS 応用の研究開発の受託テスト支援からパイロット生産まで請負実施が可能となった。高額な SPS 設備導入無しでも実用性・生産性や開発実験の検証が行える R&D から製造へ橋渡し役の中間機能である。SPS の技術普及と産学官の R&D 底辺拡大を担って行けるものと期待されている。

表2. 世界のパルス通電焼結機メーカー

(2012年10月1日現在)

メーカー名	国名(所在地)	商品名
<国内>		
① 富士電波工機(株) (旧・SPSシテックス/住友石炭鉱業から譲渡)	日本(埼玉県鶴ヶ島市)	DR.SINTER(ドクターシンター) ・型式: SPS-
② エスエスアロイ(株) (旧・中国精工社から継承)	日本(広島県東広島市)	PLASMAN(プラズマン) ・型式: CSP-
③ (株)エレニックス (旧・Japax/JJR ⇒ソディック社から分離し継承)	日本(神奈川県座間市)	Ed-Pas(プラズマ放電焼結機) ・型式: Ed-Pas-
④ 住友重機械テクノフォート(株)	日本(愛媛県新居浜市)	SPS(Spark Plasma Sintering)
⑤ (株)シンターランド	日本(新潟県長岡市)	パルス通電加圧焼結装置 SPS(Spark Plasma Sintering)
⑥ 諏訪熱工業(株)	日本(長野県諏訪市)	パルス通電接合装置(DR.BONDER)
<海外>		
⑦ ELTek 社	韓国(京畿道安養市)	PAS(Plasma Activated Sintering)
⑧ FCT Systeme GmbH	ドイツ国(Rauenstein)	SPS(Spark Plasma Sintering) および FAST(Field Assisted Sintering Technique) ・型式: HP D-
⑨ Materials Modification Inc	米国 (Virginia)	P2C(Plasma Pressure Compaction)
⑩ Thermal Technology, LLC	米国 (California)	SPS(Spark Plasma Sintering) ・型式: SPS-
⑪ Superior Graphite Co.	米国 (Illinois)	ELECTRO-CONSOLIDATION [※注] 擬HIP型]
⑫ 上海晨鑫电炉有限公司	中国(上海市)	SPS (Spark Plasma Sintering)
⑬ 宜兴市前锦炉业设备有限公司	中国(江蘇省宜兴市)	SPS (Spark Plasma Sintering)
⑭ ? (詳細不明)	中国	

(註). 青色字は過去5年以内に新規参入したSPS装置メーカー)

4. 生産システムへの移行「極意書その2」

新材料や新製品の基礎的研究開発の後に生産体制へ移行することになる。

多品種中少量生産や大量生産のためには「焼結技術」とは別に所謂“生産技術”“品質管理”といったトータルなものづくりノウハウが重要である。SPS と既存設備・保有技術との組み合わせも必要となる。この場合、製品コストにあった「ものづくり」には SPS 特性を併慮し R&D 型ビジネス特有の考え方が販売戦略上必要となる。

図3「極意書その2」は生産システムへ移行する手順を検討する基本的な考え方である。

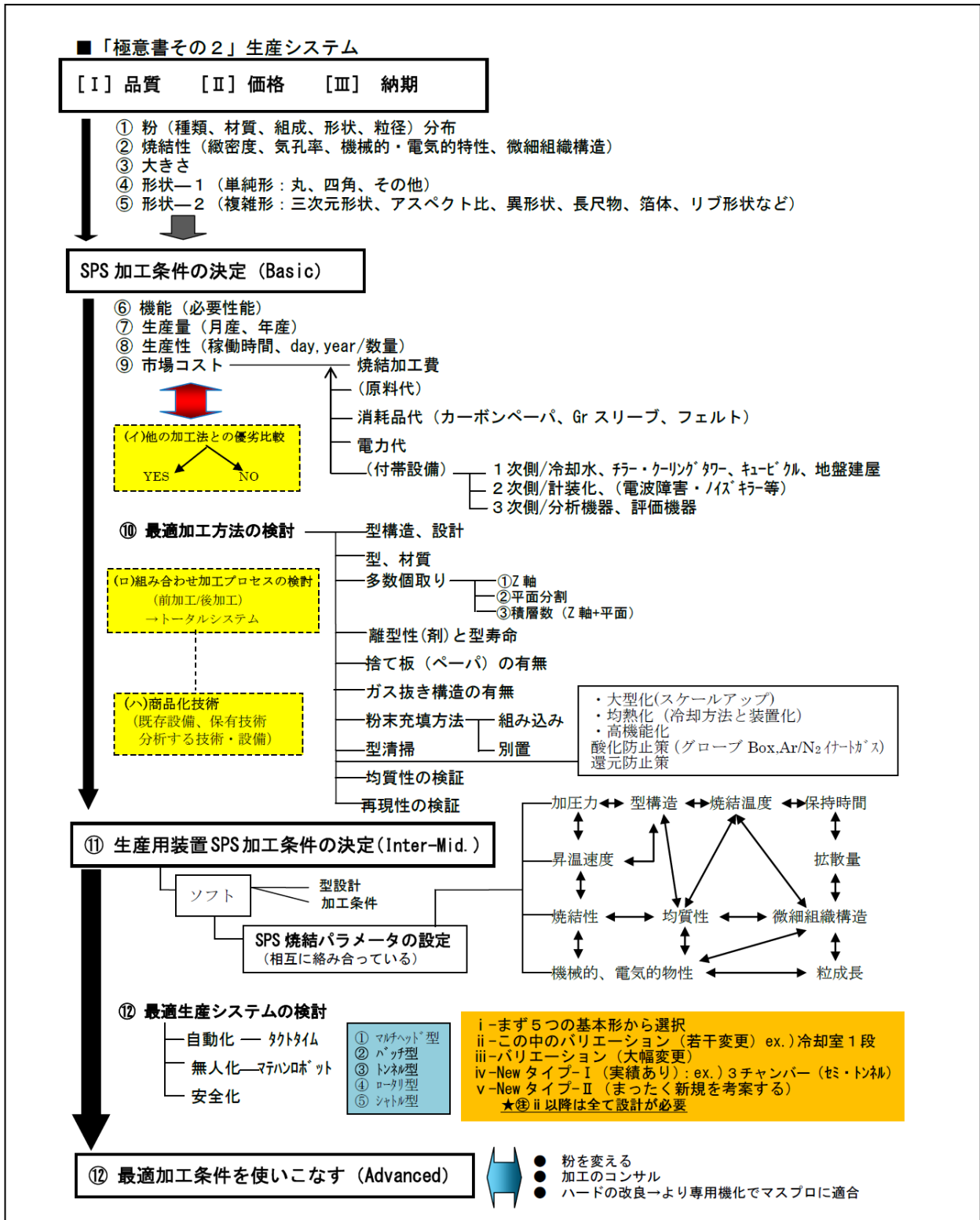


図3 生産システム移行のフローチャート

5. 第五世代型生産システムと将来

SPS をツールとして活用するには①システム技術(ハードウェア)②プロセス技術(ソフトウェア)③粉体技術を「三位一体」のコンセプトで同時並行的に最適化を図る研究開発を行うことである。図4はこれらの開発手順に基づき実用化・製品化に成功した事例である。

第五世代型生産システムとは最終製品コスト重視であることは先に述べた。大量生産には原材料コストの低減は必須条件である。如何にローコストパウダーで所望の性能の焼結体を得るかであり、同時にサイクルタイムを最短化可能な生産システムの採用が製品コストダウンに繋がる。以下に主要な第五世代システム指針を示す。

- 24時間稼働可能なこと
- フレキシブルシステムであること
- メンテナンス容易なこと
- ソフトウェアをファームウェア化(ハードへ組み込む)可能なこと
- ボタンひとつで誰でも高品位焼結体製造が可能となること
- 一般製造現場で工作機械と並んで生産稼働できるシステムとなること

後段に掲げた内容は「誰でも容易にかつ安全にボタン一つで様々な高品位焼結ができる」=「第六世代のSPSシステム」指向へのワンステップであり、将来の数値制御化(NC化)されたSPS加工システムからSPS-FAシステムを示唆している。

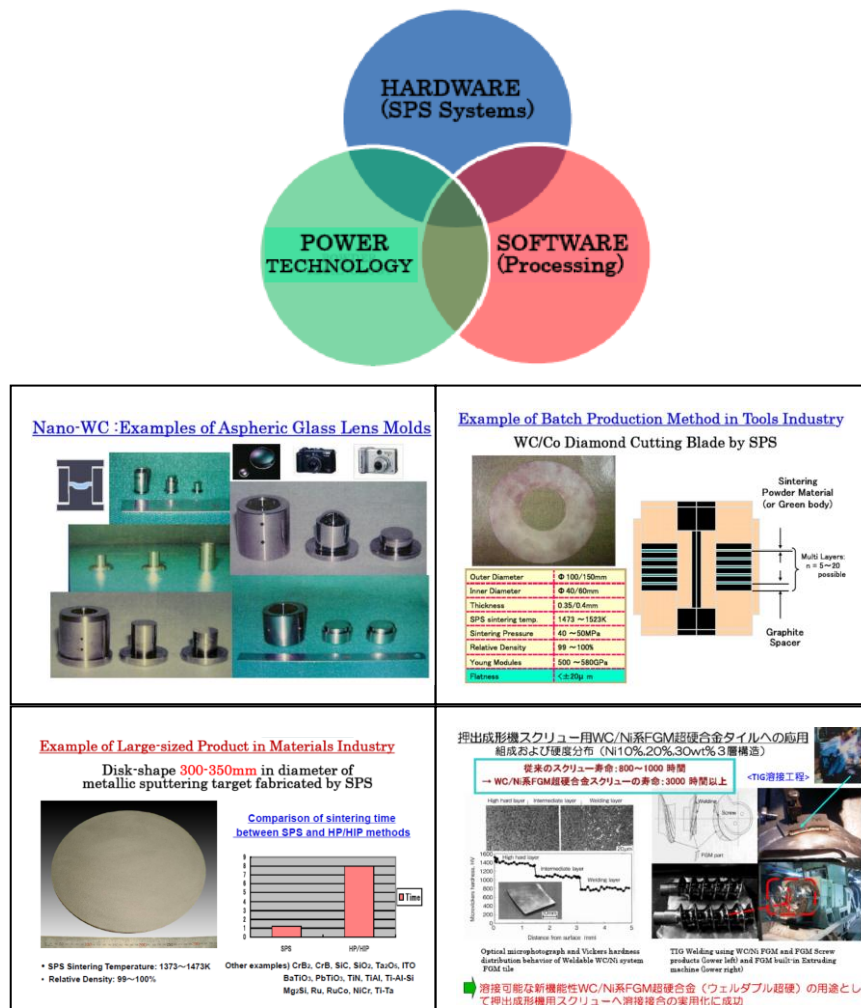


図4 「三位一体」のSPS開発コンセプトと実用例

(左上:非球面レンズ金型 右上:切断ブレード 左下:スパッタリングターゲット材料 右下:押し出し機スクリー用FGM超硬)

代表的な「第五世代 SPS 装置」例を以下に示す。

それぞれ多軸化、AC サーボモータ化、インバータパルス電源化、チャンバー構造、新発想タッチパネル操作盤など新しい機械構造や省エネ・制御構造が採用されてきている。従来の油圧、サイリスタ型パルス電源に加えて多様化が進みユーザ選択肢が増した。ソフトウェアのファームウェア化が推進されているなど特徴が顕著である。



図5 代表的な「第五世代 SPS システム」装置例

6. まとめ

今後、大電流パルス通電加圧焼結・迅速焼結法の SPS プロセスが、幅広く産業界で生産手段として発展していくためには、生産タクトタイム、ランニングコスト、メンテナンスコストを含め最終製品コストに見合った生産設備であること。連続・安定/安全操業可能で、かつ大型化・自動化・量産化・NC(数値制御)化など一層の「ハードシステム技術開発と確立」が必要である。

- 【参考文献】[1] Salvatore Grasso, Yoshio Sakka and Giovanni Maizza: "Electric current activated/assisted sintering (ECAS) a review of patents 1906–2008", Science and Technology of Advanced Materials, **10** (2009)
 [2] M. Tokita, "The potential of Spark Plasma Sintering (SPS) method for the fabrication on an industrial scale of Functionally Graded Materials", Advances in Science and Technology, Vol.63, P322-331 (2010)