データ駆動型デジタルものづくり研究センター

〔プロジェクト研究センター設置期間: 令和3年10月～令和8年3月(予定)〕

センター長　桑野　亮一（くわの りょういち）／工学部　機械システム工学科・准教授

共同研究者（学　内）
福島　千晴（ふくしま ちはる）／工学部　機械システム工学科・教授
王　栄光（おう えいこう）／工学部　機械システム工学科・教授
宗澤　良臣（むねさわ よしおみ）／工学部　機械システム工学科・教授
吉田　憲司（よしだ けんじ）／工学部　機械システム工学科・教授
池田　雅弘（いけだ まさひろ）／工学部　機械システム工学科・准教授
大島　健太（おおしま けんた）／工学部　機械システム工学科・講師

センターの概要

(1)主たる研究分野

【分　野】

総合理工(ナノ・マイクロ科学)
工学(機械工学、総合工学)

【キーワード】

ナノ材料工学、機械材料、生産工学、加工学、流体工学、熱工学、制御、機械システム、航空宇宙工学

(2)研究概要

世界規模での社会的な課題として、環境への配慮やSDGsなどの取り組みと同時に、ものづくりの分野では、IoT、Industry4.0、Society5.0、デジタルツインなどに見られるような次世代に向けたものづくりの構造変革が必要とされている。これらの近未来に想定される喫緊の課題に対して、機械工学の果たす役割は極めて大きい。本研究センターでは、新領域も包含する新たな機械工学への挑戦も含め『デジタルデータの駆使によってものづくりプロセスを変革し、データ駆動型の新たな7M(Man、Material、Machine、Method、Measurement、Management、Multiphysics)モデルの提案とその応用実現』を目的に研究を進めている。次世代の製造基盤では、人や場所などをはじめとする境界のないデータ駆動型の無人化されたものづくりシステムの構築が期待されている。その実現には、現象のモデル化や定量化、予測技術、ハードとソフトを連携するデジタル技術等が不可欠となる。さらに従来の機械工学にはなかった新機能の発現が見出されており、それらの設計手法やメカニズムの理解が求められている。よって、機械工学における新領域も対象に取り上げ、マルチフィジックスの視点から新たな機械工学分野の工学的な新展開を模索する。各分野の成果を有機的に統合し高付加価値、高機能、高効率、高強度などの実現を目指している。得られた成果を地域社会へ還元すると同時に、本学におけるものづくり教育にも積極的に活かしていく。

主な研究内容を次のように計画している。

(1)Man:人の作業(IE手法による作業分析)
(2)Material:材料の創製(ナノ構造材料の創製)
(3)Machine:工作機械および設備(ナノマイクロファブリケーション)
(4)Method:プロセス手法
(超臨界流体技術を用いた微粒子プロセッシング)
(5)Measurement:評価・計測(複雑流れの計測と制御)
(6)Management:管理・統合(データ駆動型IE手法の構築)
(7)Multiphysics:複数の物理現象が同時に作用する連成解析(マルチフィジックスシミュレーション)

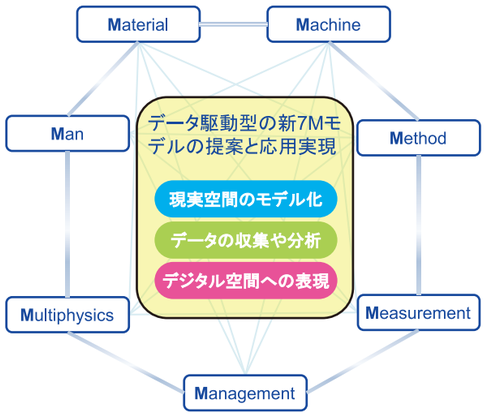

図1. 研究の目的と要素の概要

7Mの各要素の統合と結合をデジタル技術によって進め、次世代の製造システムへの応用をはかる。

研究成果等

(1)研究成果

令和4年度の研究成果について、以下に挙げる。

【Material 領域】

有機溶媒DMF-CH3CN中で電析法によって作成された皮膜にCr、Mn、Fe、Co、Niなどの金属以外、酸素と炭素が多く含有され、混合エントロピーの大きなアモルファス構造(一部ナノ結晶がある)をもつことが確認された。この皮膜を水電解の陽電極に適用して測った触媒活性は、現行のRuO_2より高い。また、CrMnFeCoNi合金の焼結合金の硬さおよび耐食性は、ボールミルによる粉末の合金化(メカニカルアロイング)の影響が大きいと確認された。また、6時間までの焼結時間延長は、腐食電位と孔食電位を上昇させることができた。さらに、焼結材に溶体化処理を実施することによってCr-rich相をMatrix相に溶かすことができ、耐食性の向上に有利であった。

【Machine 領域】

波長355nmのUVレーザによりA5052の表面加工を行い、その加工性と表面改質効果を評価した。UVレーザ加工部は、ビーム照射間隔によって、平面方向に数～20μm、深さ方向に5μm規模で創成される。またレーザ照射の重畳と領域の拡大によって、レーザ照射面では酸化が促進されるとともに表面層で汚染物と思われる各種物質が消失されたことがわかった。UVレーザ照射条件として、パルス周波数100kHz;ビーム走査速度500mm/s(ビーム移動ピッチ5μm);レーザ照射領域□20mmでA5052に重ね継手部を形成した。その接合部材を接合後、引張せん断試験から破断荷重Nを測定し、UVレーザ照射部の接合性評価した。継手の接合力は、レーザ加工面が増加することに伴い、新生面の割合も増すためその強度も向上した。重ね継手の接合部の面積を約400mm²とした場合、その強度は10MPaであった。

【Multiphysics 領域-1】

天体の重力ポテンシャルの特異点を除去するために用いられてきた正則化の手法を、非線形計画法の枠組みに組み込むことで、宇宙探査機の新しい軌道最適化の手法を構築した。本手法では、瞬間的な速度変更量(ΔV)の大きさの総和として定義される目的関数の勾配から特異点を除去したため、最適解において不要なΔVは精度良くゼロ近傍に抑えられ、また予想解に与えられておらずとも最適解に必要なΔVは自動的に生成されるという大きな利点がある。応用として、月近傍の周期軌道間の遷移軌道の最適化を行い、従来よりも燃料消費量が大幅に少ない解を得ることができた。

【Multiphysics 領域-2】

イソオクタン、ノルマルヘプタン、水素、ジメチルエーテルといった種々の燃料を用いた予混合気の圧縮過程における自己着火現象について、圧縮過程で圧縮速度が極めて大きい圧縮を追加で受けた場合に、従来から用いられている自己着火時期予測手法の適用可能性について詳細数値解析により定量的に明らかにした。急激な圧縮を受ける場合は、自着火時のLivengood-Wu積分値は減少し、圧縮速度の増加とともに減少幅が大きくなることを示した。本研究の成果は、圧縮自着火現象を利用するPCCI燃焼の実現ならびに正確な数値予測に向けた有用な知見である。

予混合気のエンドガス自着火過程において発生する圧力波や衝撃波の熱流体力学的構造ならびに発生メカニズムの詳細について明らかにした。エンドガス内に自着火速度が音速を下回る場合は発生する圧力波振幅はさほど大きくならないが、自着火速度が音速を超える場合は振幅が極めて大きな衝撃波が発生することを明らかにした。また予混合気内に当量比の分布をつけた場合について、従来から提案されている自着火速度の予測手法の妥当性について検討したところ、先行圧力波や壁面での圧力波の反射の影響を大きく受け、従来の予測手法では不十分でありこれら考慮する必要があることを示した。

(2)今後の展開・応用分野等

次世代ものづくりシステムに求められている技術革新や構造変革を進めるには、7Mの研究領域にわたって、現実空間で起こっている現象を的確に捉え、分析し、モデル化していく基礎的な取組みが重要となる。さらにそれらをデジタル空間で活用するための取組みも、高い予測精度とリアルタイム性の実現において不可欠である。

得られた研究成果およびそれらを有機的に統合し、例えばナノ材料、精密加工、輸送機器、航空宇宙などの各分野における高付加価値、高効率、高強度などを実現させる応用展開を目指す。

(3)実績(論文・特許・共同研究・産学連携・補助金)等

◎学術誌(査読付論文)
(1)T. Xiao, R. Wang, E. Tanabe, Y. Satoh, M. Bazzaoui, Y. Ling, Z. Lu, Fabrication and Characterization of Oxygen-Carbon-Contained CrMnFeCoNi Coatings Electrodeposited in DMF-CH_3CN Solution with and without Supporting Electrolyte $LiClO_4$, Coatings 2022, 12, 1804.
◎専門誌(Invited)
(1)王栄光、肖天、大川歩夢、ハイエントロピー酸炭化物皮膜の電析による作製と酸素発生用電極への適用、クリーンエネルギー、Vol.32、No.3 (2023) 34-41.
◎媒 体
(1)水電解で水素生成、酸素発生密度2.2倍　広島工大が陽電極向け皮膜開発、日刊工業新聞、2022年12月21日.
◎受託研究
(1)地盤凍結工法に用いるCO_2の気液混合特性解析.