

# HPCI戦略プログラムに係る 説明資料

# HPCI戦略プログラムに係る 説明資料

平成28年4月26日

プログラムマネージャ

土居 範久

- ◆ 25 課題のターゲットとなるマーケット
- ◆ 学術成果等の発表・メディア等の掲載実績

# HPCI戦略プログラム 25課題のターゲットマーケット

分野	研究開発課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
1	1	細胞内分子ダイナミクスのシミュレーション 研究代表者: 杉田有治(理研)	マルチスケール分子ダイナミクス・シミュレーションと一分子粒度シミュレーションを高度化し、細胞内環境下における生体分子の挙動をシミュレーションすることにより、生体膜を介した物質輸送、タンパク質/DNA相互作用、シグナル伝達機構を解明する。これにより、細胞機能の理解や薬剤設計等に貢献する。	-	-	得られた効果: 細胞内の分子拡散を含めた原子レベルの細胞質ダイナミクスの実像の理解 転写制御という重要な細胞機能に関する多くの知見を得た 今後期待される効果: 新たな治療薬の開発、再生医療などへ活用に向けたさらなる研究の促進
	2	創薬応用シミュレーション 研究代表者: 藤谷秀章(東大先端研)	分子動力学を用いた結合自由エネルギーシミュレーションを高度化し、薬候補化合物の設計方法の構築、及び化合物とタンパク質の結合部位同定法を確立する。これにより、シミュレーションによる創薬設計手法の確立に貢献する。	医薬品市場(抗がん剤等)	市場規模:(億円) 医薬品市場規模(日本):93,105億円(2011年) 医薬品市場規模(世界)<販売額>:9,530億ドル(2011年) 出典:医薬品産業ビジョン2013 資料編 - 厚生労働省  抗がん剤市場(日本):8,523億円(2014年) 出典:富士経済 <a href="https://www.mixonline.jp/Article/tabid/55/artid/52313/Default.aspx">https://www.mixonline.jp/Article/tabid/55/artid/52313/Default.aspx</a>	得られた効果: 新薬開発における計算創薬の有効性の実証(3つの薬剤候補化合物が前臨床試験に) 今後期待される効果: 今まで開発が困難であった治療薬の開発への計算創薬の応用
	3	予測医療に向けた階層統合シミュレーション 研究代表者: 高木周(東大工)	階層統合シミュレータを構築し、細胞レベルから組織、器官の挙動をシミュレーションすることにより、複雑な生命現象の理解と幅広い疾患の検証を行う。これにより、わずかな兆候からの将来の病態予測や、負荷の少ない治療法の検討、薬効の評価等に貢献する。	心臓に関する外科手術、医療機器開発 (「心臓再同期療法(CRT)」と「先天性心疾患の外科手術」における個別最適医療)	市場規模:(億円) CRT:264億円~690億円(日本) 先天性心疾患:86億円~768億円(日本) 出典:一般社団法人日本不整脈デバイス工業会 都道府県別ペースメーカー、CRT-P、ICD、CRT-D植込台数 年次推移 <a href="http://www.jadia.or.jp/medical/index.html">http://www.jadia.or.jp/medical/index.html</a> 日本胸部外科学会 <a href="http://www.jpats.org/modules/investigation/index.php?content_id=6">http://www.jpats.org/modules/investigation/index.php?content_id=6</a> 公益財団法人 日本心臓血圧研究振興会 附属榊原記念病院 病名別医療費表.xlsx <a href="http://www.jhf.or.jp/topics/upload_images/%E7%97%85%E5%90%8D%E5%88%A5%E5%8C%BB%E7%99%82%E8%B2%BB%E8%A1%A8.xlsx">http://www.jhf.or.jp/topics/upload_images/%E7%97%85%E5%90%8D%E5%88%A5%E5%8C%BB%E7%99%82%E8%B2%BB%E8%A1%A8.xlsx</a>	得られた効果: 先天性心疾患の外科手術における有効性の実証。 心臓再同期療法における有効性の実証。 今後期待される効果: PMDA「先進医療」の認可取得

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果	
1	4	大規模生命データ解析 研究代表者:宮野悟(東大 医科研)	次世代シーケンサーから得られる大規模データを解析するための計算手法を開発し、がんの原因となる機能的突然変異、大規模な生体分子ネットワークの解析、メタゲノム解析等を行う。これにより、個別化医療の理解、ゲノム情報の産業利用等に貢献する。	がん治療関連市場	市場規模:(億円) 抗がん剤市場(日本):8523億円(2014年) 再掲 出典:富士経済  抗癌剤市場(日・米・欧)4兆3,794億円 (2011年度) 出典:TPCビブリオテック <a href="http://www.tpc-osaka.com/fs/bibliotheque/mr310130095">http://www.tpc-osaka.com/fs/bibliotheque/mr310130095</a>	得られた効果: 成人T細胞白血病リンパ腫(ATL)における遺伝子異常の解明 大腸がんの進化原理の解明 今後期待される効果: 発症の仕組みの解明や新たな治療薬、治療法の開発	
		1	関連の強い量子系の新量子相探求とダイナミクスの解明 研究代表者:今田正俊(東大)	電子を含む量子多体系の物性を解明する強相関第一原理電子状態計算法を開発・整備し、超流動や超伝導のように特異な状態である量子スピン液体や非フェルミ液体などの新しい量子状態や量子相転移を解明する。これにより、他の課題と連携し、高温超伝導、高効率熱電素子等の探索に貢献する。	下記3の製品に要素技術を提供	市場規模:(億円) 出典:	得られた効果: 今後期待される効果:
		2	電子状態・動力学・熱揺らぎの融和と分子理論の新展開 研究代表者:天能精一郎(神戸大)	分子の超微細量子構造を予測可能な高精度電子状態計算法を開発・整備し、磁性体やナノ金属クラスターの電子状態、電子構造を解明する。これにより、他の課題と連携し、ナノ炭素材料の分子設計やレアアースの代替合金探索に貢献する。	下記4, 5の製品に要素技術を提供	市場規模:(億円) 出典:	得られた効果: 今後期待される効果:
		3	密度汎関数法によるナノ構造の電子機能予測に関する研究 研究代表者:押山淳(東大)	密度汎関数法を用いたシミュレーションを高度化・大規模化し、ナノ構造デバイスの電子構造・特性の解析や、構造体生成の機構を予測する。これにより、ナノワイヤーや電界効果トランジスタの設計・性能予測、新材料探索、新規デバイス材料設計等に貢献する。	・シリコンデバイス ・パワーデバイス	市場規模:30兆円(世界2012年) 出典:経産省「我が国企業の国際競争ポジションの定量的調査」調査結果(富士キメラ総研、2014年)	得られた効果: 量子効果を考慮したデバイスシミュレーション手法(電流特性)が学会や業界に認知された。 今後期待される効果: 個別に開発してきたDFT計算手法と非平衡グリーン関数法、フルバンド・モンテカルロ法、量子流体法電子論とを結合し、量子論デバイスシミュレータを開発してその動作特性を提示することにより、産業側のデバイスシミュレータ活用が本格化し、国際競争力強化に貢献する。

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
2	4	全原子シミュレーションによるウイルスの分子科学の展開 研究代表者:岡崎進(名大)	分子動力学シミュレーションを高度化し、また大規模全電子計算を実行可能とすることにより、ウイルスの感染機構や抗ウイルス剤とウイルスタンパク質との相互作用等を解明する。これにより、ウイルスの殻であるウイルスカプシドやウイルスのタンパク質の解析が可能となり、カプシドに注目した新しいタイプの小児麻痺の抗ウイルス剤の探索やインフルエンザウイルスの新規阻害化合物の設計に貢献する。	・抗ウイルス剤	市場規模:100兆円(製薬世界2012年) 出典:経産省「我が国企業の国際競争ポジションの定量的調査」調査結果(富士キメラ総研、2014年)	得られた効果: 小児麻痺ウイルスの丸ごと計算によるカプシドの特性を示すことで実験家の興味を引き、厚労省の「肝炎等克服政策研究事業」B型肝炎抗ウイルス剤開発プロジェクトでの共同研究へと展開した。 今後期待される効果: 上記プロジェクトにおいて、抗ウイルス剤の製造課程に、開発してきた計算手法が応用される可能性がある。
	5	エネルギー変換の界面科学 研究代表者:杉野修(東大)	電子状態を密度汎関数法で、原子・分子の反応を分子動力学法で解析する第一原理分子動力学法を高精度化し、電極物質と水溶液界面における酸化還元反応過程の解析により、燃料電池反応機構に関する知見を得る。これにより、高効率の燃料電池の設計や白金に替わる電極物質の探索等に貢献する。	・リチウムイオン電池 ・燃料電池	市場規模: (リチウム)4兆円/2020年 出展:㈱日本制作投資銀行「蓄電池産業の現状と発展に向けた考察(2013)」(燃料電池)6.5兆円/2030年 出典:富士経済グループ「燃料電池システム・主要スタック部品の世界市場を調査(2015)」	得られた効果: (リチウム)共同研究を実施する富士フィルムでの材料探査への利用が本格化。 (燃料電池)実験家との共同提案に発展し、NEDOのPjに採択。 今後期待される効果: (リチウム)産総研で立ち上げた産学連携の「電気化学界面コンソーシアム」の活動を活性化させることで、計算手法を普及させ、電池産業の競争力を強化 (燃料電池)白金代替電極の候補材料を計算で推測し実験で試作して特性を示すことで、計算科学が実験をリードすることが定常化される。
	6	水素・メタンハイドレートの生成、融解機構と熱力学的安定性 研究代表者:田中秀樹(岡大)	分子動力学法を用いたメタンハイドレートシミュレーションを高精度化し、メタンハイドレートや水素ハイドレートの熱力学的安定性や生成解離過程を解析することにより、メタンハイドレートや水素ハイドレートの制御に関する知見を得る。効率的なメタン採取法の探索や水素の安全で安価な貯蔵法としてハイドレート利用の研究に貢献する。	・メタンハイドレート	市場規模:3.3兆円 出典:経済産業省(2016.3発表)	得られた効果: 産総研メタンハイドレート研究センターとシンポジウム実施し関係構築 今後期待される効果: メタンハイドレート採掘条件等への計算結果のフィードバック等
	7	金属系構造材料の高性能化のためのマルチスケール組織設計・評価手法の開発 研究代表者:香山正憲(産総研)	大規模第一原理計算(オーダーN法)を用いて、金属材料中の異相界面や結晶粒界、転位の安定構造やエネルギー、強度を電子・原子挙動から解明する。フェーズフィールド法とも組み合わせることで金属系構造材料の特性を支配する「微細組織」の構造や性質を明らかにし、優れた構造材料の設計や開発の研究に貢献する。	・鉄鋼材料	市場規模:100兆円(世界2012年) 出典:経産省「我が国企業の国際競争ポジションの定量的調査」調査結果(富士キメラ総研、2014年)	得られた効果: 新日鉄住金と共同で、鉄の性質を第一原理計算によるミクロな視点からの説明を可能とし、大規模計算の威力を示すことができた。 今後期待される効果: 製造プロセスを考慮したマルチスケール計算による材料特性予測と新材料探索を、データインフォマティックスの手法を用いて実施することで、世界最先端の材料開発手法を確立し、国際競争力強化につなげる。

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
3	1	地球規模の気候・環境変動予測に関する研究 研究代表者:木本昌秀(東大大気海洋研)	全球雲解像モデルを用いたシミュレーションの高精度化によって、地球温暖化時の台風の変化を計算し、温暖化による台風への影響に関する知見を得る。また、同じモデルを長時間の予測計算に適用させ、長期間の予測(延長予測)の可能性を検討する。これにより、温暖化時の適応策の策定や、2週間以上の天気予報精度向上への貢献が期待される。	気象予報、気象情報提供事業 地球温暖化適応事業	自然災害による被害総額: 10,000億円 防災関連予算: 32,000億円 【出典】平成26年度 特許出願技術動向調査報告書(概要)防災・減災関連技術(特許庁) <a href="https://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/26_5.pdf">https://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/26_5.pdf</a>  気象情報提供事業市場規模:300億円 【出典】 気象情報の 産業的活用の拡大 - 三井物産戦略研究所 <a href="http://mitsui.mgssi.com/issues/report/r1305q_hirata.pdf">http://mitsui.mgssi.com/issues/report/r1305q_hirata.pdf</a>	得られた効果: 戦略プログラムの研究成果について、日本を含む世界の気象機関の予報データと比較する等気象庁開発部門との連絡を密に行っている。  今後期待される効果: 次期IPCC報告書等を通じた成果の発信により、国内外の温暖化適応策推進への貢献が期待される。 気象庁の次世代気象予測システムの設計に貢献が期待される。 熱帯諸国への延長予測の発信が加速されると期待される。

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
3	2	超高精度メソスケール気象予測の実証 研究代表者：斉藤和雄(気象研)	データ同化技術およびアンサンブル予測技術に雲解像モデルを組み入れて高精度化し、集中豪雨などのシミュレーションを行って、解析予測システムの計算精度を検証する。これにより、雲解像モデルによる気象予測の精度向上への貢献が期待される。	気象と水文の高精度予測による防災・減災対策(事前避難、ダム管理等治水) 交通(航空、道路、鉄道)、農業生産、再生可能エネルギー(太陽光、風力)、熱中症対策、大気汚染	自然災害による被害総額：10,000億円 防災関連予算：32,000億円 【出典】平成26年度特許出願技術動向調査報告書(概要)防災・減災関連技術(特許庁) <a href="https://www.jpo.go.jp/shiryuu/pdf/gidou-houkoku/26_5.pdf">https://www.jpo.go.jp/shiryuu/pdf/gidou-houkoku/26_5.pdf</a>  風水害等による保険金の支払い(自動車)：60～270億円 【出典】風水害等による保険金の支払い(一般社団法人日本損害保険協会調べ) <a href="http://www.sonpo.or.jp/archive/statistics/disaster/">http://www.sonpo.or.jp/archive/statistics/disaster/</a>  農業総産出額(平成26年)：8.36兆円 【出典】農林水産基本データ集(農林水産省) <a href="http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/pdf/kihon_160301.pdf">http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/pdf/kihon_160301.pdf</a>  再生可能エネルギーの電力コスト(2013年度)：5000億円 【出典】再生可能エネルギー投資の現状と課題(三井住友トラスト基礎研究所) <a href="https://www.smtri.jp/report_column/infra_ivst/pdf/InfraUPDATES_Renewable.pdf">https://www.smtri.jp/report_column/infra_ivst/pdf/InfraUPDATES_Renewable.pdf</a>	得られた効果： 戦略プログラムには気象研究所を含む気象庁開発部門が中心的メンバーとしても参加しており、気象庁との研究懇談会や施設等研究発表会、数値予報課コロキウムなどで随時情報提供を行っている。 これまでに平成26年12月15日に気象庁大会議室で開催された「平成26年度観測部・予報部と気象研究所の研究懇談会」において「HPCI戦略プログラム 超高精度メソスケール気象予測の実証」の演題で実施責任者が講演を行い、当該プログラムでの科学目標について説明するとともに、アンサンブルカルマンフィルタを用いた平成24年九州北部豪雨と平成24年5月のつくば竜巻についての同化・アンサンブル予報実験、平成26年8月広島での土石流災害の豪雨についての超高解像度数値予報実験に関する成果を紹介した。また平成28年1月13日に気象庁講堂で行われた「平成27年度気象庁施設等機関研究報告会」においても同様の演題で講演を行い、上記に加えて大気海洋結合モデルによる多数例の台風強度予報の結果、平成25年10月の伊豆大島での土石流災害の豪雨についての超高解像度数値予報実験を含む当該プログラムの成果について講演した。これらの会合には、気象庁長官・予報部長など気象庁幹部および予報部数値予報課長・数値予報班長を含む気象庁開発部門の責任者が出席している。また数値予報課コロキウムや気象庁技術開発推進本部モデル部会メソモデルグループ会合などでも、大気海洋結合モデルや観測空間での局所化を取り入れたアンサンブル変分同化法などに関して実務者間でより詳細な技術情報の提供を行っている。  今後期待される効果： 高精度数値予報に関する科学的知見は気象庁短期数値予報システム、観測システムの将来設計に貢献する。 数値予報の精度向上を通じた治水対策と予測に基づくダム管理 数値予報の精度向上を通じた交通システムの最適化と堅牢化 再生可能エネルギー(太陽光、風力)発電量と電力需要の高精度予測に基づく受給管理や火力発電の調整、 農業生産の向上、熱中症対策の高度化 大気汚染(PM2.5、原発事故時の放射性物質の移流拡散予測)への応用

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
	3	地震の予測精度の高度化に関する研究 研究代表者：古村孝志(東大地震研)	東日本大震災を踏まえて、地震波伝播や地震発生サイクルを見直し、また、震源モデルと地下構造モデルを高度化し、地震の揺れのシミュレーションを行い、巨大地震発生による強震動と津波の発生予測精度を格段に向上する。これらの結果は、現代社会が有する多様な建築物の被害予測と耐震設計のため入力地震動として活用されることが期待される。	高性能スパコンを用いた国(文科省地震本部、内閣府地震火山防災)や地方自治体が進める地震被害想定と適切な被害軽減施策の策定のための、大地震の地震発生シナリオ(震源断層モデル)の設定や、これによる地震動の評価シミュレーションへの活用が期待される。その他、構造物の安全評価のために、地震動シミュレーションは建設・設計会社、コンサルタント、ゼネコン等で必要とされており、高性能スパコンの活用により、計算精度の大幅な向上が期待できる。	南海トラフでの最大級の地震による経済損失：220兆円 【出典】南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)～経済的な被害～(中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ) <a href="http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo3.pdf">http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo3.pdf</a>	得られた効果： 地震発生確率を、従来の限られた地震履歴からの評価から、地球活動データを入力とするシミュレーションに基づいて適切に予測する、新たな地震ハザード評価の道筋を示すことができた。また、現代社会の多様な構造物の被害評価に不可欠な、短周期～長周期の広帯域の地震動シミュレーションが実用化した。  今後期待される効果： 大地震発生の緊迫度と引き起こされる揺れの特性をシミュレーションから事前に適切に予測することができるようになり、防災に向けた適切な事前対応と高い費用対効果が期待できる。
	4	津波の予測精度の高度化に関する研究 研究代表者：今村文彦(東北大災害科学国際研)	東日本大震災における津波挙動および被災状況を考慮し、津波シミュレーションを詳細化し、またリアルタイムの観測データとの融合により、津波ハザード予測法を高精度化し、被害予測を行う。これにより、津波の第1波の高波だけでなく、複合的な影響を考慮した津波被害予測へ貢献することが期待される。	気象庁(津波予警報システム) 保険業界(地震津波リスク評価に基づく地震津波保険) 自治体・地域(ハザードマップ、リスクコミュニケーション、防災啓発、防災教育)	東日本大震災に地震保険の支払い金額：1.2兆円 出典： <a href="http://www.sonpo.or.jp/news/information/2012/1206_01.html">http://www.sonpo.or.jp/news/information/2012/1206_01.html</a>	得られた効果： リアルタイム津波解析実現への期待、建物を含めた詳細地形における津波ハザード評価、津波による複合被害の予測・評価が可能になった。  今後期待される効果： 本課題で構築したリアルタイム波源推定手法をもとに、気象庁の津波予警報システムの改善を支援することにより、観測結果に基づいたより高精度な津波ハザード情報を提供できることが期待される。また、本課題で高度化された計算モデルを用いれば、世界での津波リスク評価をより正確に把握することができる。これによって、科学的根拠に基づいた津波保険を提供することが可能となり、世界各地での経済損失を縮小できる。また、本課題で得られた成果を見える化して、地域防災(ハザード・防災マップの作成支援や、リスクコミュニケーション・防災啓発・教育)へ活用すれば、地域の災害に対する強靱化を図れる。

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
3	5	都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究 研究代表者：堀宗朗（東大地震研）	東日本大震災における地震動による建造物の破壊・損傷、津波との複合災害を考慮し、また、E-Defenseの実験結果も取り入れ、高精度の建造物の震動応答モデルを構築し、都市全体の建造物の被害シミュレーションを行う。これにより、想定される地震・津波に応じた新たなハザードマップの作成に貢献することが期待される。	建設業界（重要建造物の耐震性評価） コンサルティング業界（都市の地震災害評価）		得られた効果： 地盤・建物・避難を連成して行う統合地震シミュレーションが開発された。東京23区内10km四方の領域を対象とした計算に成功し、時間分解能10Hz、空間分解能1mという現状の分解能とは桁違いに高い分解能で計算された地震災害・被害の評価を例示することに成功した。得られた成果は「統合的予測システム」と称しポスト「京」重点課題③でその実用化を図っている。具体的な実用化の取り組みとして、2015年度より、内閣府防災・関連コンサルティング企業に、地震動評価のための高性能計算を利用する数値解析手法の技術提供を開始した。  今後期待される効果： 重要建造物の耐震性評価（ないし耐震設計）に、開発された建造物地震応答解析手法が利用される効果は期待できる。同様に、都市の地震被害推定に、開発された都市地震応答解析手法ないしその数値解析コンポーネントが利用される効果は期待できる。
		1	輸送機器・流体機器の流体制御による革新的高効率・低騒音化に関する研究開発 研究代表者：藤井孝藏（東京理科大）	マイクロデバイスを有する非定常乱流場を解析する高解像度基盤ソフトウェアを開発し、幅広いレイノルズ数（ $10^4$ から $10^6$ ）の大規模シミュレーションを進め、輸送機・流体機器における流体制御マイクロデバイスの動的流れ制御メカニズムを明らかにする。これにより、輸送機・流体機器に「流体制御マイクロデバイスによる流体機器設計」という新たな設計概念の導入を目指す。	航空機、自動車、流体機器です。風力発電装置がありますが、現時点では大きな市場ではないので、回転機器に含めてよいと考えます。	市場規模：(億円) 出典： 課題3と同じ回転機器
4	2	次世代半導体集積素子におけるカーボン系ナノ構造プロセスシミュレーションに関する研究開発 研究代表者：大野隆央（物材機構）	第一原理電子状態計算シミュレーションを高精度化し、カーボン系ナノ材料による次世代配線プロセス設計解析、カーボン系ナノ構造デバイスの素子特性解析を実施し、従来の素材が持たない新しい機能を持つ炭素材料を用いたデバイスの設計を可能とする。これにより、炭素材料を利用した高性能・低消費電力半導体デバイスやエネルギー変換デバイスの開発に貢献する。	パワーデバイス市場 パワー半導体は、家電、PC、自動車、鉄道等あらゆる機器の電力を制御するデバイスで、電力変換損失を大幅に低減するための特性向上が強く求められている。エネルギー産業に使われる機器では、半導体に占めるパワー半導体の割合が50%を超える場合も多い。SiCを利用した次世代パワーデバイスに関して、大手自動車メーカーが2020年までに実車に搭載する計画を発表したことから注目度を強めている。 ( <a href="http://www.rohm.co.jp/web/japan/gd3">http://www.rohm.co.jp/web/japan/gd3</a> )	市場規模：(億円) パワーデバイス市場（世界）：1.5兆円（2013年実績）、3兆円規模（2020年予測）、この内、SiC、GaN等を利用した次世代パワーデバイス市場は1/10程度の3,000億円（2020年予測） 出典：矢野経済研究所 <a href="http://www.yano.co.jp/">http://www.yano.co.jp/</a>	得られた効果： 次世代パワーデバイス開発の大きな技術課題である酸化膜界面等のナノ構造形成プロセスの最適化に計算機シミュレーションが有用であることを実証。  今後期待される効果： SiC、GaN等の新材料を利用した次世代パワーデバイスの開発を加速し開発コストを削減するとともに、パワーデバイス性能向上による電力変換損失の大幅な低減にも効果が期待される。

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
4	3	乱流の直接計算に基づく次世代流体設計システムの研究開発 研究代表者:加藤千幸(東大生産研)	乱流のシミュレーションを高精度化・大規模化し、自動車、ターボ機械、燃焼・ガス化装置などを対象に高空間解像度のシミュレーションを行うことにより、次世代流体設計システムの研究開発及びその実証を行う。これにより、流体関連機器の設計・開発プロセスの大幅な高速化とコストダウンに貢献する。	自動車、ポンプ、船舶市場	市場規模:(億円) 自動車市場 196.8兆円(2012年) 出典:経済産業省「我が国企業の国際競争ポジションの定量的調査」調査結果(富士キメラ総研)、JEITA「電子情報産業の世界生産見通し」等 <a href="http://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2014fy/E004082.pdf">http://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2014fy/E004082.pdf</a>  ポンプ市場 2009年に約194億ドル(約1兆5,500億円)だった市場規模は、2016年には、262億ドル(約2兆1,000億円)にまで増えると予測されています。  出典:Frost & Sullivan <a href="http://www.torishima.co.jp/jp/ir/inv-pumps-market.html">http://www.torishima.co.jp/jp/ir/inv-pumps-market.html</a>  船舶市場 世界の既発注船舶の価格合計額4,420億ドル(2009年末) 出典:国土交通省海事局船舶産業課「造船市場と造船業の現状について」 <a href="http://www.mlit.go.jp/common/001035550.pdf">http://www.mlit.go.jp/common/001035550.pdf</a>	得られた効果: 乱流の直接シミュレーションにより、風洞試験や水槽試験の代替え、および機器の性能・品質の向上に資する解析に成功した。  今後期待される効果: 実験の代替による自動車の開発期間短縮・コストの削減。
	4	多目的設計探索による設計手法の革新に関する研究開発 研究代表者:大山聖(JAXA)	大規模設計最適化問題のための多目的設計探索フレームワークを開発する。製品の設計において頻繁に直面する多くの設計目的(性能、重量、コスト、信頼性など)間のトレードオフの関係を明らかにして、全体を最適化する手法を開発するとともに、得られた最適解から設計情報を効率的に抽出する新しいデータマイニング手法を開発する。企業との共同研究によりその有効性を実証することで設計期間の大幅な短縮を目指す。	ものづくり産業界全般	市場規模:(億円) 57兆7,339億円 出典:経済産業省「工業統計調査」2013年速報 <a href="http://www.strike.co.jp/car/research/research_2015_maker.html">http://www.strike.co.jp/car/research/research_2015_maker.html</a>	得られた効果: 大規模な多目的設計探索が実設計問題において有効であることを実証  今後期待される効果: ものづくり分野全般における設計開発期間の短縮, 設計開発コストの削減, 製品品質の向上

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
4	5	原子力施設等の大型プラントの次世代耐震シミュレーションに関する研究開発 研究代表者: 中島憲宏 (JAEA)	大型プラントの耐震シミュレーションを高精度化し、施設全体を丸ごとシミュレーションすることにより、地震時の大型プラントシステムの安全性を高精度に評価する。これにより、安全面やコスト面において国際的に競争力の高い大型プラントの実現に貢献する。	地球温暖化対策市場	市場規模:(億円) 100基×300,000kWe/基×25万円/kWe=750兆円 出典: CIGS 地球温暖化国際シンポジウム2016「地球温暖化問題における原子力エネルギーの役割」 ( <a href="http://www.canon-igs.org/event/report/20160315_3549.html">http://www.canon-igs.org/event/report/20160315_3549.html</a> )	得られた効果: あるがままの状態解析を耐震分野で実現。安全・安心社会へ向け一つの合理的分析・評価手段の提供に寄与した。 今後期待される効果: 日本の耐震安全性を喧伝し、国際競争市場における競争力強化に資する。
	1	格子QCDによる物理点でのバリオン間相互作用の決定 研究代表者: 初田哲男(理研)	格子量子色力学(QCD)の高精度シミュレーションにより、クォークから核子、さらに核子から多種の原子核を構成する「強い力」の基礎理論を検証する。それに基づいて陽子などクォーク3個からなる複合粒子(バリオン)間に働く有効相互作用を決定する。これにより、新粒子の存在や中性子星の上限質量の信頼できる予言への貢献が期待される。	—	—	—
5	2	大規模量子多体計算による核物性解明とその応用 研究代表者: 大塚孝治(東大)	酸素位までの質量のアイントープについては、第一原理計算を用い、より重い原子核については、QCDから得られる有効核力を用いた手法を用い、原子核の量子多体シミュレーションを実施し、それぞれの原子核をこれまでにない精度で計算する。その結果から、実験的に未知なエキゾチック原子核の存在限界・構造・反応を解明し、予言する。これにより、学術的・社会的に重要な原子核の計算への貢献が期待される。	—	—	—

分野	研究開発 課題番号	課題名	研究の概要	ターゲットとなるマーケット	市場規模・出典	得られた効果・今後期待される効果
5	3	超新星爆発およびブラックホール誕生過程の解明 研究代表者: 柴田大(京大)	ニュートリノ加熱機構に関する様々な観点を考慮しながら、高精度な一般相対論的(磁気、非磁気)流体計算及びニュートリノ輻射輸送計算によって、これまで再現されていない重力崩壊型超新星爆発及びブラックホールの誕生過程を解析する。特に、ニュートリノ加熱機構がもたらす爆発への寄与を定量的に評価する。これにより、ブラックホールや中性子星の誕生過程、ガンマ線バースト機構の解明への貢献が期待される。	—	—	—
	4	ダークマターの密度ゆらぎから生まれる第一世代天体形成 研究代表者: 牧野淳一郎(理研)	ダークマター構造形成シミュレーション、銀河形成シミュレーションの計算コードを開発し、それらを使って大規模数値シミュレーションを実現する。その結果から、第一世代天体形成、銀河形成の過程を明らかにする。これにより、宇宙の構造形成の統一的理解への貢献が期待される。	—	—	—

# HPCI戦略プログラム 学術成果等の発表・メディア等の掲載実績

HPCI戦略プログラム開始から現在に至るまで、得られた成果について多数の論文・学会発表と、メディア等を通じた国民への情報発信を実施。

		H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
学術論文	国内	18	57	98	56	40	269
	海外	125	135	237	193	195	885
学会発表	国内	203	291	481	339	306	1,620
	海外	164	193	329	344	318	1,348
受賞等		14	17	14	16	26	87
ワークショップ・研究会等		77	144	180	154	131	686
メディアへの情報発信		38	96	91	75	115	415

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野1

		H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
学術論文	国内	0	0	38	8	2	48
	海外	11	14	50	41	35	151
学会発表	国内	11	19	75	68	66	239
	海外	3	13	62	62	29	169
受賞等		1	1	5	2	5	14

## ■ 代表的な受賞

- ・平成24年度文部科学大臣表彰・科学技術賞  
銅谷 賢治 教授(沖縄科学技術大学院大学)
- ・International Society for Computational Biology Fellow (平成25年度)  
宮野悟 教授(東京大学医科学研究所)
- ・第11回 産学官連携功労者表彰 厚生労働大臣賞 (平成25年度)  
秋山 泰 教授(東京工業大学)
- ・日本機械学会 計算力学部門 功績賞 (平成27年度)  
久田俊明(東京大学)、柳田敏雄(理化学研究所)

# メディアへ等の掲載実績 分野1

	H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
ワークショップ・研究会等	3	14	36	20	5	78
メディアへの情報発信	2	10	20	9	33	74

## ■ 代表的な記事掲載・テレビ放送

- NHKクローズアップ現代 「社会を変える“ビッグデータ”革命」2012年5月  
宮野 悟(東京大学医科学研究所)
- これが世界一のシミュレーション！ 「スーパーコンピュータ 京」  
NHK サイエンスZERO 2015年10月4日放送  
奥野恭史(京都大学)、佐野俊二(岡山大学)
- Multi-scale Multi-physics Heart Simulator UT-Heart (youtube動画)  
久田俊明(東京大学)、柳田敏雄(理化学研究所)  
SIGGRAPH 2015 BEST VISUALIZATION AND SIMULATION 受賞  
Science ,IFL science 等 約30のウェブサイトで紹介
- 「ポスト京」で世界一へ 週刊東洋経済 2016年12月26日-1月2日合併号  
松田秀雄(大阪大学)

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野2

		H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
学術論文	国内	7	12	11	10	9	49
	海外	18	32	37	41	48	176
学会発表	国内	2	18	50	52	53	175
	海外	10	21	39	23	54	147
受賞等		8	6	3	3	6	26

## ■ 代表的な受賞

- ・岩田、押山他      2011 ACM Gordon Bell Prize (Peak Performance)  
「First-Principles Calculation of Electronic States of a Silicon Nanowire with 100,000 Atoms on the K Computer」
- ・森田明弘      平成23年度日本化学会学術賞「界面和周波発生分光の理論の開発と液体界面への応用」
- ・有田亮太郎      平成24年文部科学大臣表彰 若手科学者賞「強相関第一原理計算法の開発と応用の研究」
- ・高木知弘      APACM Award for Young Investigators in Computational Mechanics  
「For significant contributions in the field of computational mechanics」
- ・Truong Vinh Truong Duy      ISC14 ベストポスター賞(2014)  
「OpenFFT: An Open-Source Package for 3-D FFTs with Minimal Volume of Communication」
- ・館山佳尚、袖山慶太郎      7回ドイツ・イノベーション・アワード ゴットフリート・ワグネル賞(2015)  
「スパコンの高効率利用によるリチウムイオン電池電解質界面反応の理論的機構解明」
- ・有田亮太郎      第19回久保亮五記念賞(2015)「非経験的定量計算による超伝導体の理論研究」

# メディアへ等の掲載実績 分野2

	H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
ワークショップ・研究会等	32	68	74	76	58	308
メディアへの情報発信	3	4	10	12	8	37

## ■ 代表的な記事掲載・テレビ放送

- ・三澤 貴宏  
今田 正俊  
「電子密度のゆらぎ増大が鉄系超電導の原因に—東大が理論計算で証明」  
日刊工業新聞 2015年1月15日
- ・天能精一郎  
「人工光合成研究に熱視線」  
神戸新聞 2015年1月15日
- ・岡崎 進  
「1000万原子を計算 名大が新ソフト 新薬開発に活用」  
日本経済新聞 2013年9月24日
- ・館山佳尚  
「リチウムイオン電池「京」で実験 長寿命化に道」  
日経産業新聞 2013年8月2日
- ・松本正和  
「Science View ～Supercomputer K Opens Doors to the Future～  
(マンハイトレート、H<sub>2</sub>O結晶の動画)」  
NHK 国際放送 番組「Science View」2014年11月/2015年4月
- ・渡辺宙志  
How the Physics of Champagne and Soda Bubbles May Help  
Address the World's Future Energy Needs  
AIPによるプレスリリース 2014年12月号

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野3

		H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
学術論文	国内	4	32	24	21	17	98
	海外	10	24	50	33	28	145
学会発表	国内	66	90	129	65	83	433
	海外	20	39	82	122	81	344
受賞等		0	3	0	4	7	14

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野3(その2)

## ■ 代表的な受賞

### 平成24年度

- JACM(日本計算力学連合)Fellows Award
- 海岸工学論文奨励賞

### 平成26年度

- 日本気象学会2014年気象集誌論文賞「最も確からしい状態の決定論予測可能性と変分法データ同化の再定式化」露木義(気象研究所)
- 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞
- SC14/15 Gordon Bell Prize finalist

### 平成27年度

- 日本気象学会2015年度岸保賞 齊藤和雄(気象研究所／海洋研究開発機構)
- 日本気象学会2015年気象集誌論文賞「地球温暖化に伴う熱帯低気圧の全球発生数の将来変化に対する制約条件」佐藤正樹(東京大学大気海洋研究所)、山田洋平(海洋研究開発機構)、杉正人(気象研究所)、小玉知央(海洋研究開発機構)、野田暁(海洋研究開発機構)
- 日本地震学会若手学術奨励賞
- SC14/15 Gordon Bell Prize finalist

### 平成28年度

- 平成28年度文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)「正二十面体分割格子を用いた全球非静力学大気モデルの開発」佐藤正樹(東京大学大気海洋研究所)、富田浩文(理化学研究所計算科学研究機構)

# メディアへ等の掲載実績 分野3

	H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
ワークショップ・研究会等	14	18	23	17	30	102
メディアへの情報発信	4	5	30	22	19	80

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野3(その2)

## ■ 代表的な記事掲載・テレビ放送

### 平成24年度

- ・ 毎日新聞「東日本大震災1年津波から身を守る減災、未来への義務、堆積物、歴史を証明(その1)」
- ・ 読売新聞(大阪)「ニュースが気になる 3連動地震「京」で被害予測安全な避難先もわかる」

### 平成25年度

- ・ TBS(報道特集)「竜巻に豪雨・異常気象が招く危機」 國井勝(気象研究所) 2013年9月

### 平成26年度

- ・ FujiSankei Business i.朝刊9面「2週間先の台風発生を予測 東大などが共同研究、スパコン「京」で実証」中野満寿男(海洋研究開発機構)、沢田雅洋(東京大学大気海洋研究所 ※現在は気象庁気象研究所所属)、那須野智江(海洋研究開発機構)、佐藤正樹(東京大学大気海洋研究所)

### 平成27年度

- ・ 京算百景, Vol. 12, 1-4「「京」による集中豪雨予測研究で防災・減災の未来を拓く」大泉伝(海洋研究開発機構)、斉藤和雄(気象研究所／海洋研究開発機構) 2016年1月
- ・ テレビ東京 ワールドビジネスサテライト「スパコンで高解像度な津波モデルを用いた浸水解析のリアルタイム化に成功-津波警報を高度化し、災害に強い都市づくりに貢献」
- ・ 日本経済新聞「スパコンで高解像度な津波モデルを用いた浸水解析のリアルタイム化に成功-津波警報を高度化し、災害に強い都市づくりに貢献」

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野4

		H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
学術論文	国内	6	10	24	14	11	65
	海外	3	11	37	20	30	101
学会発表	国内	54	135	162	106	64	521
	海外	41	62	74	56	51	284
受賞等		3	2	3	3	7	18

## ■ 代表的な受賞

- Senior Scientist Award, K. Fujii, The Asian Pacific Association for Computational Mechanics (APACM), 2016/7予定
- Fluid Science Award, K. Fujii, Fluid Science Foundation, 2013/10
- Compit Award 2015, 西川達雄(一般財団法人 日本造船技術センター), COMPIT, 2015/05
- 多目的設計探査とその応用に関する研究, 大林茂, 文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門, 2014/04
- ICCES Distinguished Achievement Award, Shinobu Yoshimura, ICCES(国際計算実験理工学会議), 2015/7

# メディアへ等の掲載実績 分野4

	H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
ワークショップ・研究会等	4	13	22	22	22	83
メディアへの情報発信	25	13	14	4	9	65

## ■ 代表的な記事掲載・テレビ放送

- ・平成26年2月3日 産経新聞空気の予測・・・効率的に新車開発 記事掲載
- ・平成27年2月2日 日刊工業 「省燃費の船舶開発」 記事掲載
- ・平成27年2月16日 日刊工業 「最適解を「京」で分析」(マツダより車両構造設計)
- ・平成27年4月20日 日刊工業 SiCパワーデバイス特性向上を目指したシミュレーション研究で記事掲載 「京」で界面構造を探る
- ・平成27年5月31日 輸送機器・流体機器の流体制御による革新的高効率化・低騒音化に関する研究開発関連で「夢の扉」TV放映
- ・平成27年10月15日 横浜ゴム(株)がニュースリリース 横浜ゴム、タイヤのエアロダイナミクス技術をさらに進化 車の空気抵抗低減に加え、車両のリフト(浮き上がり)抑制に貢献

# 学術成果等の発表・受賞実績 分野5

		H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
学術論文	国内	1	3	1	3	1	9
	国際	83	54	63	58	54	312
学会発表	国内	70	29	65	48	40	252
	国際	90	58	72	81	103	404
受賞等		2	5	3	4	1	15

## ■ 代表的な受賞

- ・仁科記念賞、つくば賞(H24):青木慎也(筑波大)、初田哲男(理研)、石井理修(筑波大)
- ・ゴードン・ベル賞(H24):石山智明(筑波大)、似鳥啓吾(理研)、牧野淳一郎(東工大)
- ・Fellows of the International Society on General Relativity and Gravitation (2013):柴田大(京大)
- ・第33回猿橋賞(H25):肥山詠美子(理研)
- ・科学技術分野の文部科学大臣表彰(H26):青木慎也(筑波大)、初田哲男(理研)、石井理修(筑波大)、石山智明(筑波大)
- ・日本物理学会第17回論文賞(H23)、第20回論文賞(H26)、第7回若手奨励賞(H24)、第8回若手奨励賞(H25)、第9回若手奨励賞(H26)

# メディアへ等の掲載実績 分野5

	H23(年度)	H24	H25	H26	H27	合計
ワークショップ・研究会等	24	31	25	19	16	115
メディアへの情報発信 (プレスリリース)	4 (0)	64 (5)	17 (1)	28 (7)	46 (3)	159 (16)

## ■ 代表的な記事掲載・テレビ放送

- ・「京」の成果「ゴードン・ベル賞」受賞 暗黒物質の動き解明(日経新聞H24/11/16)
- ・今夏、銀河系中心が輝く 超巨大ブラックホールで(共同通信H25/3/20)
- ・ Simulations back up theory that Universe is a hologram(Nature H25/12/10)2013年Natureで最も読まれた記事
- ・「特集:新説 宇宙の起源 超弦理論が明かす宇宙の起源」日経サイエンス(H26/9/25)
- ・NHKワールド(H26/11/18)超新星爆発
- ・NHKコズミックフロント(H28/2/18)ダークマター



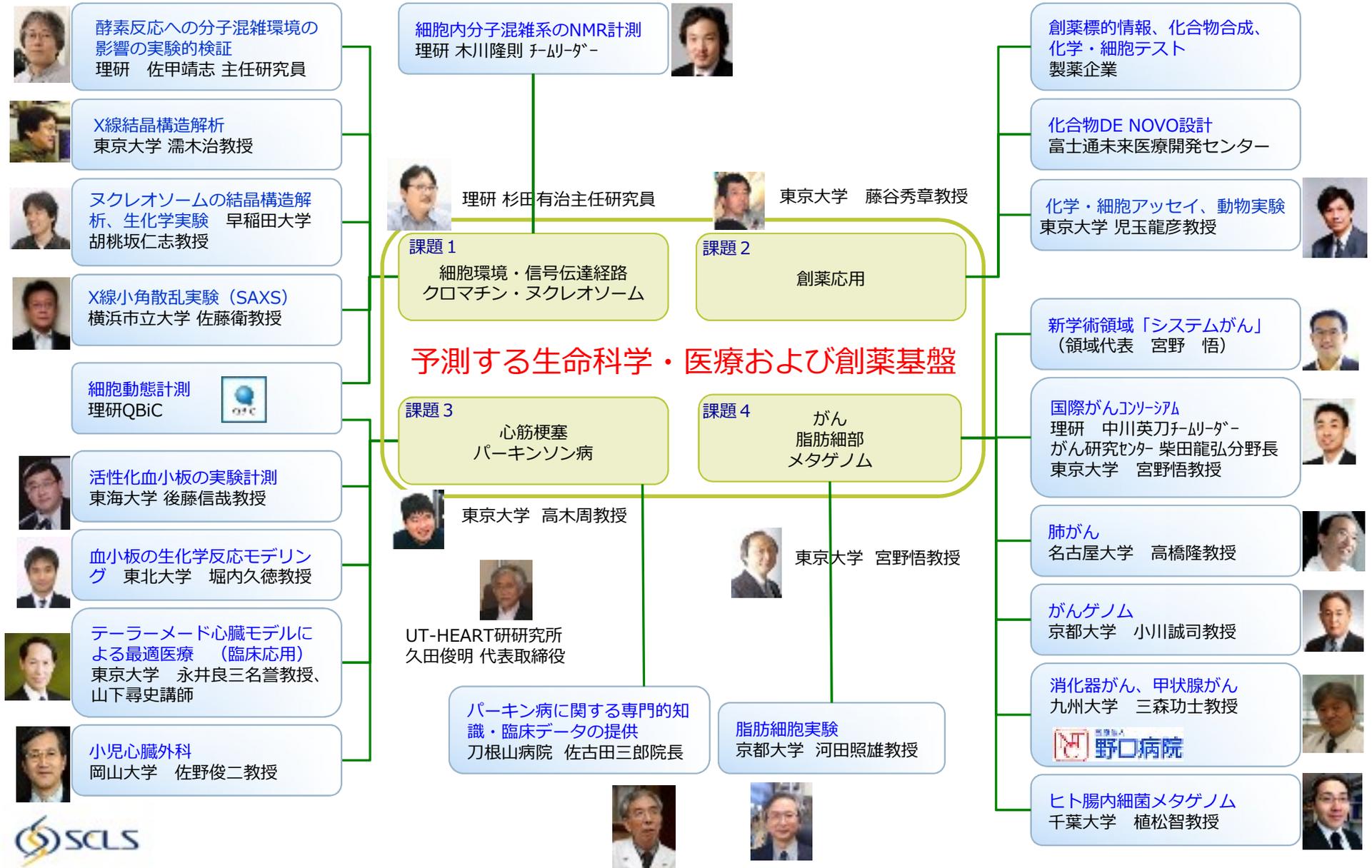
# HPCI戦略プログラム 分野 1

## 予測する生命科学・医療および創薬基盤 補足説明資料

平成28年3月29日  
国立研究開発法人 理化学研究所

柳田 敏雄

# 実験、医療・創薬との連携



心臓外科の国際的権威

岡山大学  
佐野教授



実験(臨床)データ



シミュレータ

心臓シミュレータ

UT-Heart  
東京大学



UT-HEART研研究所  
久田俊明 代表取締役



世界初

困難な小児先天性心疾患手術  
術後予測のシミュレーション

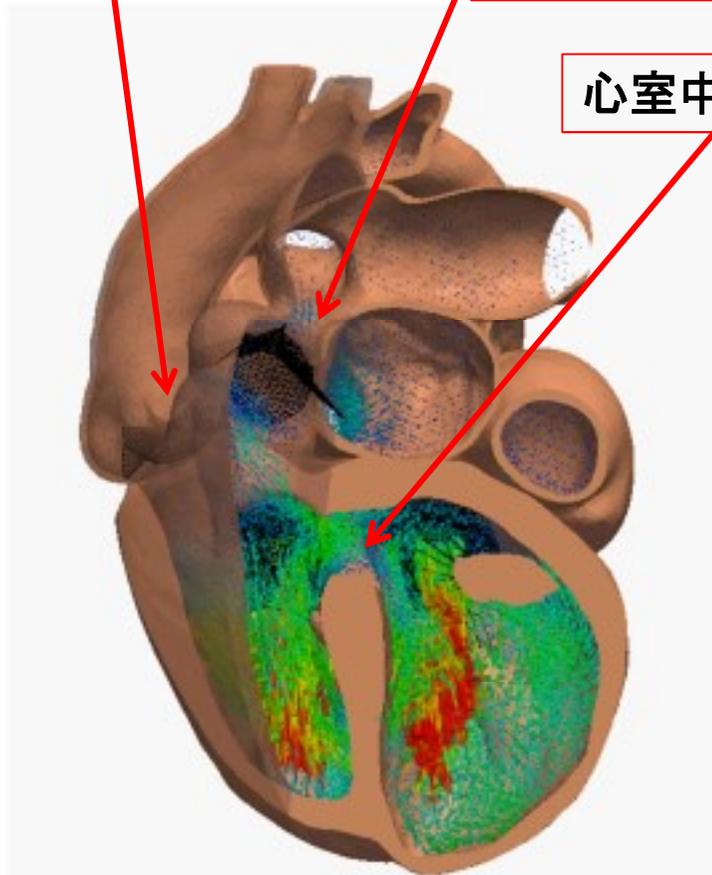
(参考) 2歳男児の症例の説明  
術前

左心室につながっているべき大動脈が右心室から伸びている。肺から送られてくる酸素を含んだ血液(動脈血)は両心室を隔てる中隔壁に空いた穴を通じて大動脈に送られている

両大血管右室起始

肺動脈バンディング

心室中隔欠損

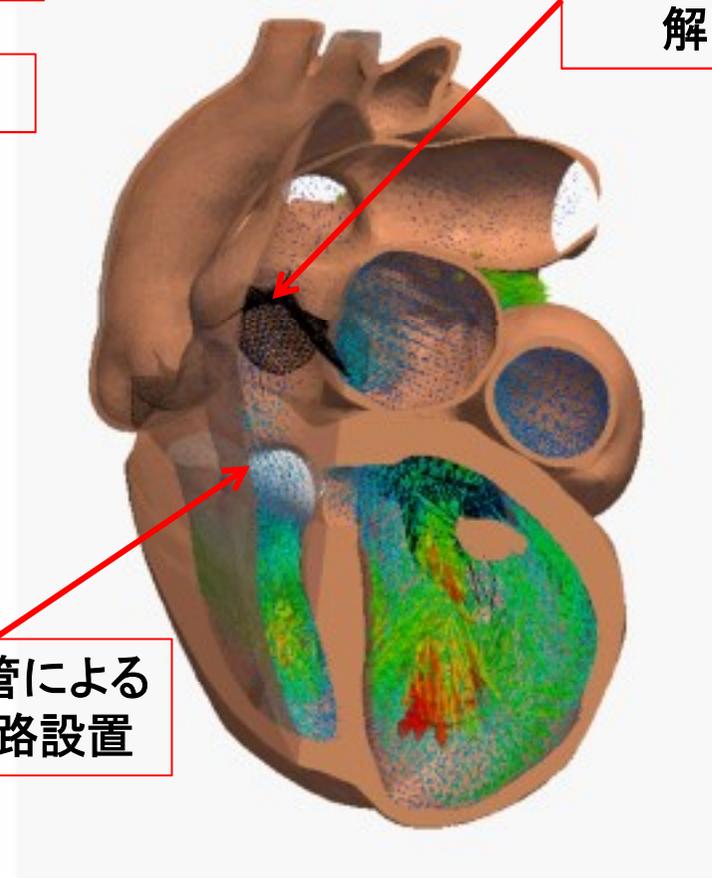


術後

心室中隔欠損部から大動脈にかけて人工血管により流路を構築し、右心室への動脈血の流出を防止。これにより左心系と右心系血液は完全に分断され右室血圧も下がるのでバンディングを解除。

バンディング解除

人工血管による内部流路設置



右心室の血圧も大きくなり肺への圧負荷が大きくなるので生後間もなく肺動脈を絞る(肺動脈バンディング)ことにより、肺動脈圧を下げています。

(参考) 術後状態が予測可能に

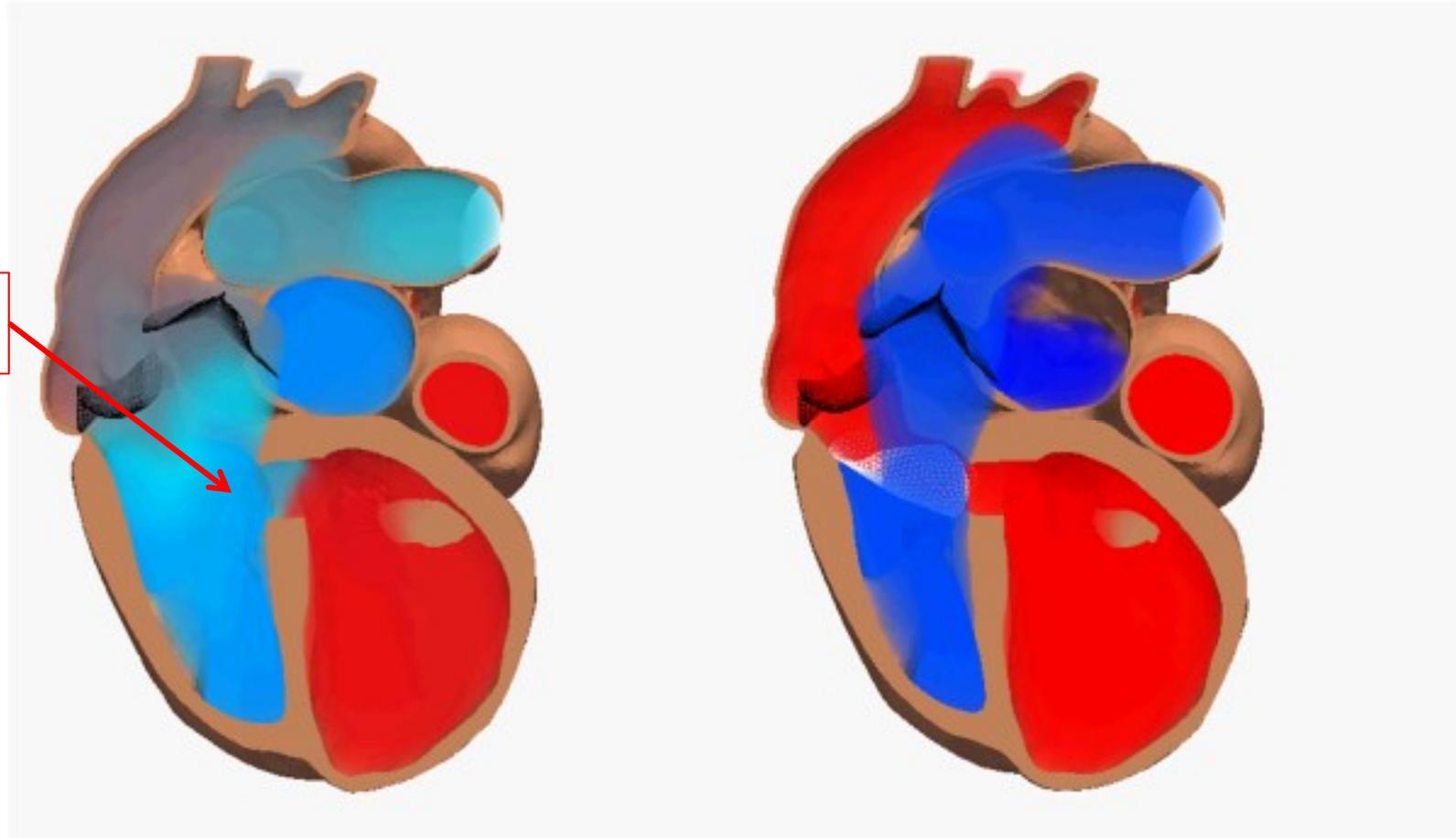
2歳男児

術前術後ともに血圧や心室の容積変化など正確に再現

術前

術後

動脈血と静脈血  
の混合



術前は動脈血と静脈血が混合しているが、  
術後は流路を分離したので混合はなくなっている。

酸素飽和度改善

# 臨床応用を目指し、 株式会社UT-Heart研究所を設立(2015年,久田俊明)



## || 事業内容

UT-Heartの技術はテーラーメイド医療に用いることが出来ます。つまり医療情報に基づき個人の心臓をコンピュータ上に再現することで病気のメカニズムに適った合理的な診断を行い、更にそれに仮想的な治療を施すことにより、最適な治療オプションを選択することが可能となります。例えば心臓再同期療法(CRT)では、施術しても改善の見られないnon-responderと呼ばれる患者さんが30%以上存在することが報告されていますが、それを事前に判定すること、そして有効と判定された場合には、心臓のどの位置に電極を配置すれば最も高い効果が得られるかを知ることが出来ます。またやり直しのきかない大掛かりな心臓外科手術についても、事前にコンピュータ上で複数の術式をシミュレートし、血圧や血流などの動態や心臓への負担がどう変わるかを比較することが出来ます。またUT-Heartに薬を投与すれば心臓がどう反応するかも試すことが出来ますので、テーラーメイド医療だけでなく、創薬の強力な手段となります。更に、従来は動物実験に頼らなければならなかった除細動装置や補助人工心臓など各種の医療機器の開発にもUT-Heartは活用され画期的な成果を挙げています。

ATL: 母乳などを通じて乳児期にウイルス(成人T細胞白血病ウイルスHTLV1)に感染したりリンパ球の一種「T細胞」に、遺伝子の異常が蓄積し数十年後に発症。日本に多い疾病。

宮野悟 教授  
東京大学  
医科学研究所



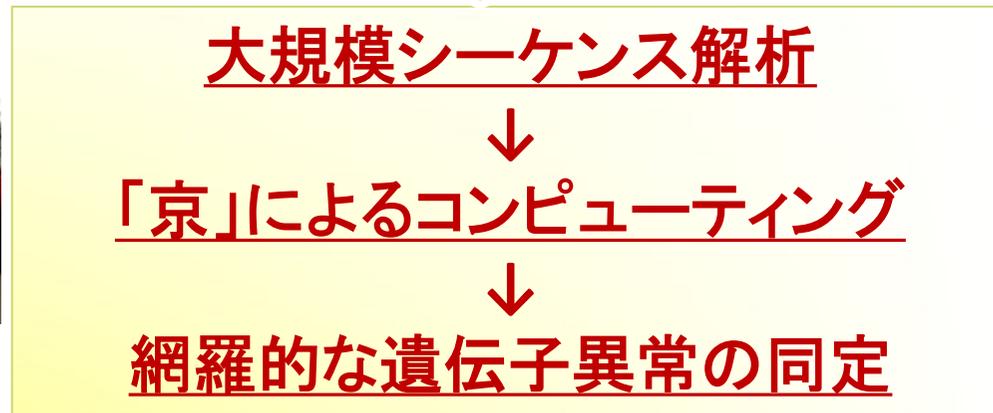
大規模解析法

実験(臨床)データ



小川誠司 教授  
(京大医学研究科)

個人のゲノム配列の違いを知り、その上で治療に臨むことが重要だと思います  
小川 誠司



患者426人から採取したがん細胞のゲノム(全遺伝情報)を分析し、約50個の遺伝子に異常が生じていることを発見。創薬標的となり得る異常(PRKCBの機能獲得型変異など)を同定  
「遺伝子異常の全体像をほぼ解明できた。発症の仕組みの解明や新たな治療薬の開発につながる」  
(小川教授)

2015年10月5日プレスリリース=>毎日新聞、日経電子版など9社以上、TV(MRT宮崎放送)などで報道

東京大学  
医科学研究所  
宮野悟 教授  
新井田厚司助教



大規模解析法

実験(臨床)データ



九州大学  
三森功士 教授



2016年2月8日プレスリリース

大腸がんが非常に多様な遺伝子変異を持つ、不均一な細胞集団から構成されていること、またがん細胞の生存とは関係のない遺伝子変異の蓄積による「中立進化」によってこのような腫瘍内不均一性が生まれることを明らかにしました。今回の成果は、がんに対する新しい治療法や治療戦略を生み出すための基盤になると期待されます。

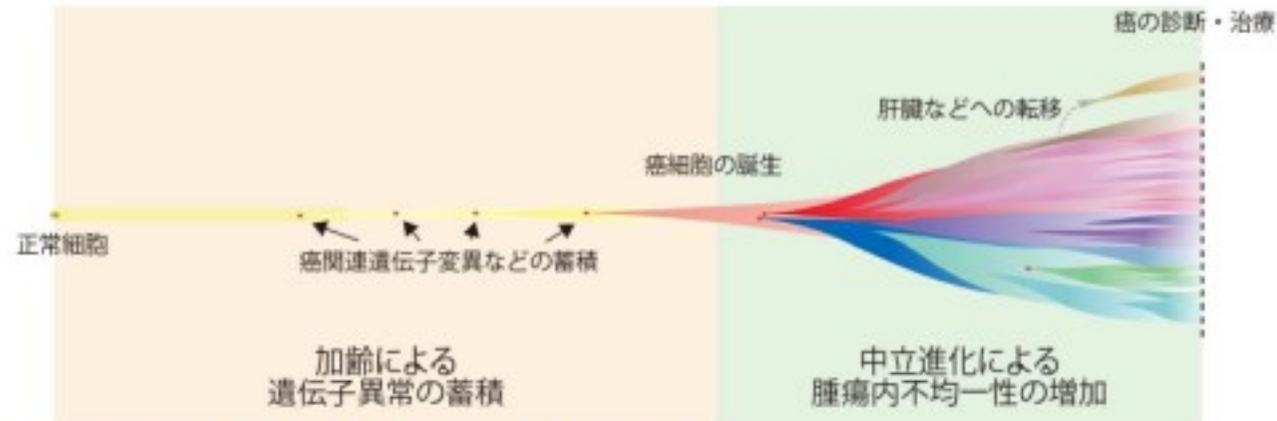
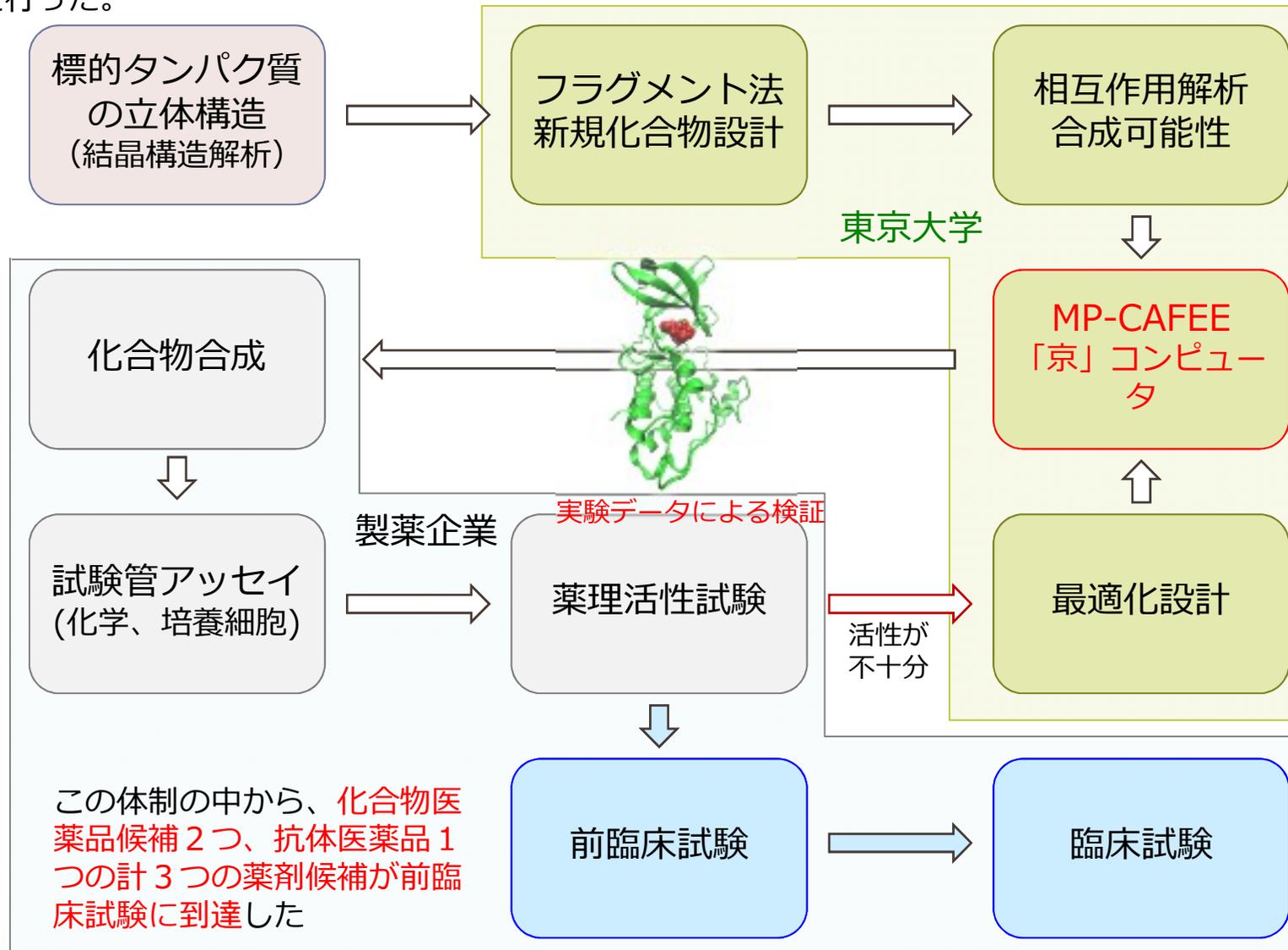


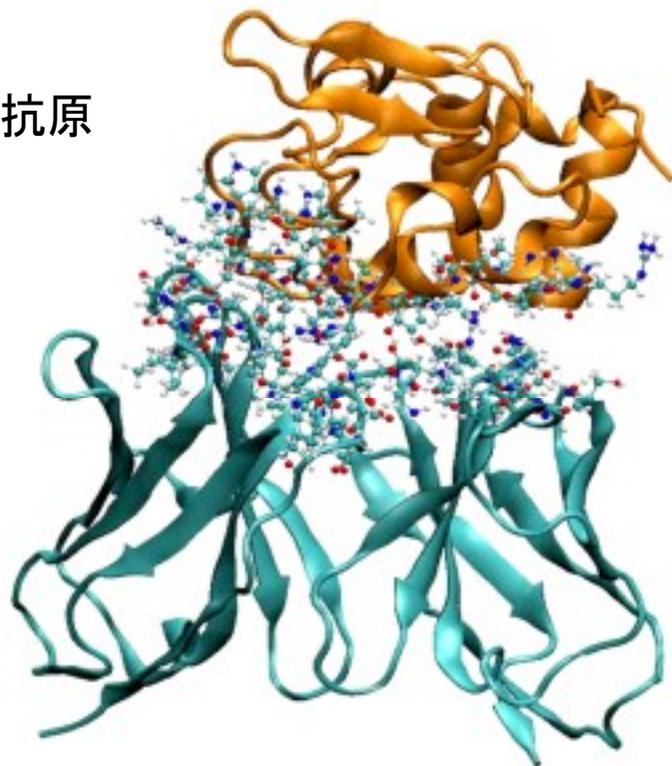
図 本研究により提唱された大腸がん進化のモデル図

実際の創薬の過程のなかで「京」を用いた計算を行うためには、製薬会社との共同研究体制が必須である。課題2では、下記のように製薬会社との緊密な協力体制のもと創薬プロセスの中心に「京」を据えた体制を構築し、研究開発を行った。



2010年3月 最先端研究支援 見玉プロジェクト(実験)の成果を活用

抗原



抗体

MDADDスーパーコンピューター

612 CPU (3672 cores)

Linpack: 34.67 TFLOPS

地球シミュレーター (2002): 35.86TFLOPS



「京」の270分の一

2014年から「京」で大規模計算を行い、抗体を設計

# ポスト「京」重点課題に向けた展開

## 分野1

ポスト「京」重点課題 1 生体分子システムの機能制御による革新的創薬基盤の構築  
協力体制：産業界全体を盛り上げるオープンイノベーション

バイオグリッドセンター関西(製薬コンソ:製薬関連会社22社、IT会社2社)  
上記以外の製薬会社(個別対応)

創薬統合システムの共同開発、各社創薬テーマへの計算手法の適用

先端医療振興財団・クラスター推進センター  
統合システムの現場実装と利用体制の構築

日本医療研究開発機構(AMED)・創薬支援戦略部  
創薬支援ネットワークでの連携

スーパーコンピューティング技術産業応用協議会  
他分野(製薬業界以外)とのソフトウェア開発連携

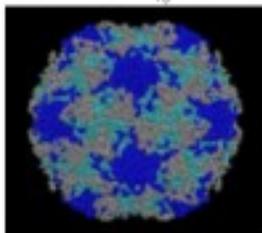


**製薬企業 (22社) :** アスピオファーマ、杏林製薬、エーザイ、小野薬品工業、科研製薬、キッセイ薬品工業、参天製薬、塩野義製薬、大日本住友製薬、田辺三菱製薬、日本新薬、千寿製薬、大正製薬、帝人ファーマ、東レ、日産化学工業、マルホ、持田製薬、アステラス製薬、日本たばこ産業、MeijiSeikaファルマ、カネカ  
**IT企業 (2社) :** 京都コンステラ・テクノロジーズ, 三井情報

# 分野間連携の主な例

## 戦略プログラム 分野2

### 第3課題: 分子機能と物質変換



生体分子を物質としてとらえ、ウイルスの増殖、感染、免疫の機構を分子レベルで解き明かします。これらの知見をもとに、ウイルスを構成するタンパク質と薬剤候補となる物質とのドッキングシミュレーションを通じて、創薬に役立てます。

重点課題1: 全原子シミュレーションによるウイルスの分子科学の展開



## 戦略プログラム 分野1

### 課題1: 細胞内分子ダイナミクスシミュレーション

分子の振舞いから細胞機能の解明に向けた技術基盤の構築と有用性の実証

### 課題2: 創薬応用シミュレーション

「京」コンピュータを用いた新薬設計方法の創薬における有用性の実証



## ポスト「京」重点課題1

生体分子システムの機能制御による革新的創薬基盤の構築

HPCI戦略プログラム  
分野2  
新物質・エネルギー創成  
補足説明資料

平成28年4月26日  
計算物質科学イニシアティブ (CMSI)  
統括責任者  
東京大学 常行真司

## 分野2「新物質・エネルギー創成」 評価委員からのコメント対応

1. 各分野個別へのコメント等について

◆コメント1: 人材育成は企業では抱えきれなく重要。

回答: 「京」利用を目標としている方々の支援活動を実施し、「京」の一般利用へ導いた。

(関連プレゼン資料: p6、23、48、49)

<補足>

人材育成活動は、平成28年度以降はAICSとの連携で、配信講義を継続予定。また、戦略機関である物性研、分子研、金研で実施する人材育成・教育活動に関しても、引き続き人材育成活動を継続。企業への高度人材の輩出とともに企業研究者の育成も図る。平成27年度より文科省より「人材育成コンソーシアムの構築事業」を受託し、インターンシップ等を通してより一層、アカデミア人材を企業に輩出する仕組みを構築中。

◆コメント2: 普及の鍵は下位スパコンで使えるか否か。今後はコンシエルジュが重要。

回答: 総合的支援のコンシエルジュ機能を継続的に実施できる仕組みをHPCI関係者で検討要。

(関連プレゼン資料: p6、23、25、26、48)

<補足>

「アプリ普及活動は、計算物質科学のポータルサイトMateriApps構築し、PCからスパコンまで利用可能なアプリ搭載“MateriApps LIVE!”を開発。開発アプリ講習会を実施して、利用者促進活動を実施している。今後は、RISTとの連携や、特定領域の産学コンソーシアム設置等により、HPCI総体としてのコンシエルジュ機能を検討していく必要がある。」

分野2

2. 分野間で共通的なところは、一緒に取り組んでいく仕組みが必要。  
戦プロ事例①

・分野1、分野2連携シンポジウム

HPCI戦略プログラム  
分野1 × 分野2  
シンポジウム  
in 名大

**生体分子複合システムを計算する**

相互作用は何をもたらすのか——

**参加費無料**

2013年12月17日 (火)  
名古屋大学 IB電子情報館 大講義室  
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

主催  
HPCI戦略プログラム [分野1]  
「予測する生命科学・医療および創薬基盤」  
(総略機関：理化学研究所)  
HPCI戦略プログラム [分野2]  
「新物質・エネルギー創成」  
計算物質科学イニシアティブ  
(総略機関：東大物性研・分子研・東北大金研)

共催  
名古屋大学情報科学研究科  
名古屋大学工学研究科  
名古屋大学計算科学連携教育

世話人  
太田元規  
名古屋大学大学院情報学研究科  
笹井理生  
名古屋大学大学院工学研究科

お申し込みはこちらから  
[https://krs.bz/riken/m/hpci\\_sympo](https://krs.bz/riken/m/hpci_sympo)  
※当日参加可ですが、可能であれば事前にお申し込みください。

HPCI戦略プログラム 分野1 × 分野2 シンポジウム in 名大

2013年12月17日 10:30~

名古屋大学  
IB電子情報館 大講義室  
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

[https://krs.bz/riken/m/hpci\\_sympo](https://krs.bz/riken/m/hpci_sympo)  
※当日参加可ですが、可能であれば事前にお申し込みください。

参加費無料 当日参加可

**【シンポジウム主旨】**  
ハイパフォーマンスコンピュータの進展により、大規模な生体分子シミュレーションが実施可能となった。特に生体分子の相互作用は分子機能に貢献する上で重要である。本シンポジウムでは生体分子複合システムのシミュレーションを行っている研究者に講演していただき、相互作用が誘起する分子機能発現メカニズムに焦点をあてたハイパフォーマンスコンピュータシミュレーションがもたらす生命科学研究について展望したい。

**【主催】**  
HPCI戦略プログラム分野1  
「予測する生命科学・医療および創薬基盤」  
(総略機関：理化学研究所)  
HPCI戦略プログラム分野2  
「新物質・エネルギー創成」  
計算物質科学イニシアティブ  
(総略機関：東大物性研・分子研・東北大金研)

**【共催】**  
名古屋大学情報科学研究科  
名古屋大学工学研究科  
名古屋大学計算科学連携教育

**【世話人】**  
太田元規 名古屋大学大学院情報学研究科  
笹井理生 名古屋大学大学院工学研究科

**【Program】**

- 10:30 - 10:40 Opening 太田元規 名古屋大学大学院情報学研究科
- 10:40 - 11:10 太田元規 名古屋大学大学院情報学研究科  
「CARMILが誘起するアクチンキャッピングタンパク質の動的構造変化」
- 11:10 - 11:40 北尾彰明 東京大学分子細胞生物学研究所  
「巨大生体超分子の構造転移制御メカニズム」
- 11:40 - 12:10 白井剛 長浜バイオ大学コンピュータサイエンス学科  
「超分子モデリングパイプラインの構築」
- 12:10 - 12:20 鎌田知佐 理化学研究所 HPCI計算生命科学推進プログラム  
「生命科学者に開かれた SCLS 計算機システム」
- 12:20 - 14:00 昼休憩
- 14:00 - 14:30 長岡正隆 名古屋大学大学院情報学研究科  
「タンパク質における緩和と反応の統計的アプローチ」
- 14:30 - 15:00 野口博司 東京大学物性研究所  
「生体膜の形成する形態の多様性」
- 15:00 - 15:30 杉田有治 理化学研究所 杉田理論分子科学研究室  
「膜タンパク質の構造予測と分子シミュレーション」
- 15:30 - 15:45 休憩
- 15:45 - 16:15 河野秀俊 日本原子力研究開発機構分子シミュレーション研究グループ  
「ヒストンバリエーションとヌクレオソーム構造の安定性」
- 16:15 - 16:45 高野光則 早稲田大学大学院先進理工学研究科  
「分子機械と天然変性タンパク質に通底する静電アロステリック機構」
- 16:45 - 17:15 笹井理生 名古屋大学大学院工学研究科  
「アクトミオシンモーターの動作機構」
- 17:15 - 17:25 Closing 笹井理生 名古屋大学大学院工学研究科
- 17:45 - 交流会

【お問合せ先：分野1 × 分野2 シンポジウム in 名大事務局】  
(総略) 理化学研究所 HPCI計算生命科学推進プログラム 〒650-0047 神戸市中央区港島南町 7-1-26  
Tel: 078-940-5692 Fax: 078-304-8785  
E-mail: hpci\_sympo@riken.jp



2013年8月27日

独立行政法人理化学研究所

### 「京」が切り拓くライフサイエンス最前線！記者勉強会のお知らせ

世界最高クラスの性能を有するスーパーコンピュータ「京」は2012年9月に共用を開始し、国家戦略的な課題や、一般公募より厳選された課題の研究が進められています。

ライフサイエンスの分野は、「京」の活用で、これまでは考えられなかったスケールでの分子の動きを計算することで、生命にかかわる機能の予測をしています。薬として役に立つ分子を論理的に、かつ高精度に設計することもできるようになってきました。さらに、それら分子の世界から細胞、そして心臓や脳などの器官から全身までもコンピュータの中に組み立て、機能を解明する研究が進んでいます。また、ゲノム・ビッグデータの時代に突入している今日、「京」による膨大な規模のゲノム・データ解析は、生命の仕組みを明らかにしてきています。

今回の勉強会では、これまで「京」で得られた成果に加え、最前線で進めている研究を分かりやすくご紹介いたします。そして、「京」が私たちの生命現象の理解、さらには医療や創薬の現場にどのように寄与するのをお示しします。

一般社会に対する「京」の役割や、「京」で創出されたライフサイエンスの成果をお伝えいただく際、お役に立つものと期待しています。

### 記

#### 1. 概要

- (1) 開催日:2013年9月9日(月) 14:00より受付開始
- (2) 場所:理化学研究所 計算科学研究機構(神戸) 1F セミナールーム(別紙1)
- (3) スケジュール:
  - 14:00 受付開始
  - 14:30-14:35 ご挨拶: 理研計算科学研究機構 機構長 平尾公彦
  - 14:35-14:45 ご挨拶: 理研 HPCI 計算生命科学推進プログラム 統括 柳田敏雄(分野1)
  - 14:45-15:15 細胞内環境でのタンパク質や核酸の分子ダイナミクスの解析  
理化学研究所 杉田 有治(分野1)
  - 15:15-15:45 ウイルスの営みを分子レベルで解明！  
～抗ウイルス剤やワクチン開発に新しい道を拓く～  
名古屋大学 岡崎 進(分野2)
  - 15:45-16:00 休憩
  - 16:00-16:30 「京」を利用した新しい創薬プロセスの可能性  
東京大学 先端技術研究センター 山下 雄史(分野1)
  - 16:30-17:00 予測医療に向けた階層統合シミュレーション  
東京大学 高木 周(分野1)
  - 17:00-17:30 アンチメタボ細胞の新規メカニズムやがんの薬剤耐性システムの多様性が浮き上がってきた  
東京大学 宮野 悟(分野1)

#### 2. ご説明の内容(要旨)

##### ■細胞内環境でのタンパク質や核酸の分子ダイナミクスの解析

従来行われていた溶液中のタンパク質ダイナミクスを、細胞環境をあらわに含むタンパク質群の高解像度シミュレーション解析へ「京」を用いて発展させます。混雑した細胞内環境で、タンパク質がどのように安定性を保ち、機能を発揮するのか、原子レベルで明らかにしていき、医療、創薬分野での基礎的知見を得ます。

##### ■ウイルスの営みを分子レベルで解明！～抗ウイルス剤やワクチン開発に新しい道を拓く～

物質なのか生物なのか？その境界にあるウイルス。ナノサイズと非常に小さく、感染過程などの営みを直接観察することは非常に困難です。そこで、スーパーコンピュータ「京」を使えばウイルスやレセプターの動き全てを丸ごとコンピュータの中に再現し、その振る舞いをこと細かに分子レベルで「観察」できます。今回は現在進行中の研究を紹介し、これが新しい原理のワクチンや抗ウイルス剤へとつながっていく道筋についてお話します。

##### ■「京」を利用した新しい創薬プロセスの可能性

これまで偶然頼みであった薬づくりは、徐々に論理的設計に転換しつつあり、今ではコンピュータを利用して薬づくりを加速しようという研究が世界的に盛んになっています。しかし、従来の計算精度は不十分であり、計算機の役割は限られています。今回、私たちの研究グループは、高精度計算を薬づくりのプロセスに導入する試みを行い、「京」の強力な計算力がこの新しい薬づくりプロセスを実行可能にすることを示しました。

##### ■予測医療に向けた階層統合シミュレーション

私たちの研究グループは、統合されたシステムとしての人体の再現を目指しています。今回は、「世界初、心筋細胞内の分子の動きから心臓全体の拍動まで一挙にシミュレーションする心臓シミュレータ(UT-Heart)」、「世界最速の流体構造連成シミュレータ ZZ-EFSI による血流のシミュレーション」および「世界最大の脳神経系シミュレーションに成功した NEST を用いたパーキンソン病のモデリング」について紹介いたします。

##### ■アンチメタボ細胞が生まれる新たなメカニズムを明らかにする

肥満にとっては悪玉ともいわれる白色の脂肪細胞が、寒冷刺激によりベージュ色に変化します。このベージュ細胞は骨格筋の100倍の熱産生能力を持つアンチメタボ細胞で、その全遺伝子を「京」で解析した結果、熱産生の鍵遺伝子を惹起する新たなメカニズムが浮かび上がってきました。

##### ■がんが薬剤耐性を獲得する多様な仕組みが浮き上がってきた

がんは抗がん剤に対してやがて耐性を獲得します。「京」によるかつてない規模のデータ解析により、抗がん剤に対する薬剤耐性とがんのシステム異常を約400億個の遺伝子因果関係として抽出し、その本態に迫っています。

戦プロ事例③

・AICS、5分野連携広報イベント

**第1回** TUT-CMSI  
計算物質科学“見える化”シンポジウム

# “見えない”科学から“見える”科学へ

原子や分子の振る舞いを大規模計算で明らかにする計算物質科学。次世代の新デバイスや薬剤、燃料電池などの開発への応用が期待されています。にもかかわらず、一般社会からは「難しい」と敬遠されがちです。目に「見えない」ナノの科学を「見える」科学としてわかりやすく伝えるにはどうしたらいいのか？「見える化」の新しい手法を拓くため、本シンポジウムを開催します。

日時：平成25年 **3/5** 火  
**11:00** > **18:00**

会場：秋葉原UDX4階  
UDX NEXT-3 > フロア展示 11:00 > 12:50  
UDXシアター > シンポジウム 13:00 > 18:00

参加：事前登録制  
定員150名になり次第締め切ります。(参加無料)

登録Webページ：  
<http://www.cms-initiative.jp/ja/events>  
「見える化」シンポジウムをクリック

主催：計算物質科学イニシアティブ(CMSI)  
(中核拠点)  
東京大学物質研究所・自然科学研究機構分子科学研究所  
東北大学金属材料研究所  
豊橋技術科学大学(TUT)  
次世代シミュレーション技術者教育推進室(ADSIM)  
CMSI人材育成・教育拠点

協力：理化学研究所計算科学研究機構(東京AICS)  
理化学研究所HPC計算生命科学推進プログラム  
海洋研究開発機構・東京大学生産技術研究所  
計算基礎科学連携拠点

連絡先：東京大学 物質研究室内 計算物質科学イニシアティブ(CMSI)事務局  
〒277-8581 千葉県船橋市和泉5-1-5 TEL 04-7136-3279 / FAX 04-7136-3441  
E-mail: adm-office@cms-initiative.jp / URL: <http://www.cms-initiative.jp/>



豊橋技術科学大学  
計算物質科学イニシアティブ  
CMSI

**第1回** TUT-CMSI  
計算物質科学“見える化”シンポジウム

# “見えない”科学から“見える”科学へ

●平成25年3/5 会場 秋葉原UDX4階 UDX NEXT-3 > フロア展示 11:00 > 12:50  
UDXシアター > シンポジウム 13:00 > 18:00

**フロア展示 11:00 > 12:50** ● UDX NEXT-3  
「計算科学の広報と教育活動」  
TUT-CMSI-理研AICS・  
HPC戦略プログラム5分野 他

**シンポジウム 13:00 > 18:00** ● UDXシアター  
「“見えない”科学から“見える”科学へ」

<p>13:00 ↓ 13:20</p>	<p>挨拶：幹 佳之 (TUT学長) 挨拶：下関康行(文科省情報部長) 活動紹介： 常任真司 (東京大学 / CMSI統括責任者) 堀田康孝 (TUT副学長)</p>
<p>13:20 ↓ 13:40</p>	<p>「計算物質科学広報の現状と課題」 藤堂真治 (東京大学 / CMSI 広報代表)</p>
<p>13:40 ↓ 14:30</p>	<p>■ 招待講演 ■ 「理解と発見」：植松秀樹 (NHK)</p>
<p>14:30 ↓ 14:50</p>	<p>■ コーヒーブレイク ■ (シアター・ホワイエ / NEXT-3)</p>

14:50  
↓  
15:40

「可視化とシナリオで科学を面白く伝える」：伊藤智義 (千葉大学)

15:40  
↓  
16:30

「“見える化”は決め手になるか？～分野外からみた計算物質科学の難みは～」  
横山広美 (東京大学)

16:30  
↓  
16:50

■ コーヒーブレイク ■  
(シアター・ホワイエ / NEXT-3)

16:50  
↓  
17:40

■ パネルディスカッション ■  
「“見えない”科学と社会をつなぐために」  
モデレーター：  
後藤仁志 (TUT ADSIM幹事)  
パネラー：植松秀樹・伊藤智義・横山広美・岡野秀男・幸木哲夫 (理研AICS広報国際委員長)

17:40  
↓  
18:00

■ 締め ■  
「“見えない”世界を“魅せる”には」：岡野秀男 (TUT / CMSI 人材育成委員)

**招待講演者紹介**

**【植松秀樹】**  
NHKディレクター、NHKスペシャル「コンピュータ革命 最速×最強の頭脳誕生」を担当。NHKスペシャル「素数の魔力に囚われた人びと〜リーマン予想・天才たちの150年の闘い」で、2010年科学ジャーナリスト大賞受賞。映像になりにくい科学の世界を、CGを駆使して巧みに可視化し、科学の魅力を伝えている。

**【伊藤智義】**  
千葉大学大学院 工学研究科人工システム科学専攻教授。2012年「ホログラフ専用計算機による次世代3次元映像技術の研究」で文部科学大臣表彰科学技術賞受賞。著書「スーパーコンピュータを20万円で作る」や、漫画「FRANS〜コンピュータに賭けた男たち〜」等の作家としても活躍中。

**【横山広美】**  
東京大学大学院理学系研究科准教授/広報室副室長。社会と科学を結ぶ「科学コミュニケーション」が専門。NikonのWebページ連載中の「光と人の物語〜見るということ」で2007年科学ジャーナリスト賞受賞。大学院教育課程に科学コミュニケーションを基礎学問として位置付け、先駆的な講義を実施中。



豊橋技術科学大学  
計算物質科学イニシアティブ  
CMSI

## HPCI戦略プログラム 分野2×分野5 異分野交流研究会

### 第1回「量子系の固有値問題と大規模計算」

日時： 2011年7月26日(火) 11:00～19:00

会場： 筑波大学計算科学研究センター・ワークショップ室

### 第2回「量子モンテカルロ計算」

日時： 2012年5月30日(水) 10:30～17:30

会場： 東京大学柏キャンパス 物性研究所 6F 第1会議室

### 第3回「量子多体系のダイナミクス計算 –原子核から物質科学まで–」

日時： 2013年11月13日(水)13時～14日(木)17時

会場： 自然科学研究機構分子科学研究所

### その他

- ・AICS、5分野合同研究交流会(「京」向けの高度化技術)を6回開催
- ・元素戦略プロジェクト関連のシンポジウム、研究会を複数開催
- ・RIST,AICS連携で、大型研究施設連携シンポジウム、勉強会を開催
- ・計算科学技術特論の配信講義を分野5の筑波拠点に配信

等

## 分野2

### ・ポスト「京」重点課題で、新たに実施予定の取組 ①重点課題5,6,7連携、産官学連携シンポジウム

#### ◆産応協、CMSI、ポスト京重点課題5・6・7合同 産学官連携シンポジウム2016

日程 平成28年2月24日(水) 13:00～18:00

場所 ステーションコンファレンス東京

主催：

- ・スーパーコンピューティング技術産業応用協議会(産応協/ICSCP)
- ・計算物質科学イニシアティブ(CMSI)(東京大学物性研究所／自然科学研究機構分子科学研究所／東北大学金属材料研究所)
- ・ポスト「京」重点課題(5)「エネルギーの高効率な創出、変換・貯蔵、利用の新規基盤技術の開発」(代表機関：自然科学研究機構分子科学研究所)
- ・ポスト「京」重点課題(6)「革新的クリーンエネルギーシステムの実用化」(代表機関：東京大学工学系研究科)
- ・ポスト「京」重点課題(7)「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成」(代表機関：東京大学物性研究所)

協賛：

- (公財)計算科学振興財団(FOCUS)
- (一財)高度情報科学技術研究機構(RIST)

#### プログラム：

開会挨拶：太田浩二(京都大)

13:05 産業基盤ソフト構想について 奥田基 (RIST神戸副センター長)

13:10 重点課題5の概要 館山佳尚 (物材機構)

13:15 重点課題6の概要 望月祐志 (立教大)

13:20 重点課題7の概要 小野倫也 (筑波大)

重点課題5

13:25 産業・実験との共同研究から

理論へのフィードバック

～CO2分離・回収の研究を例に～ 中井浩巳 (早稲田大)

13:45 NTChem: 分子科学計算ソフトウェア 中嶋隆人 (理研)

14:05

第一原理分子動力学計算による

リチウムイオン2次電池負極/電解液界面

における添加剤効果と被膜形成機構

奥野幸洋 (富士フィルム)

重点課題6

14:25 フラグメント分子軌道法プログラム

ABINIT-MPのものづくり分野への展開 望月祐志 (立教大)

14:45 コーヒーブレイク

15:05 第一原理分子動力学プログラム

PHASE/0 大野隆央 (物材機構)

15:25 PHASE/0普及の取り組み 甲賀淳一郎 (株式会社アスムス)

重点課題7

15:45

オーダーN法第一原理計算プログラム

CONQUESTの開発：

百万原子系に対する第一原理

シミュレーションと電子状態解析

宮崎剛 (物材機構)

16:05 電子状態計算の産業応用 前園涼 (北陸先端大)

16:25 希土類賦活蛍光体の結晶構造と

電子状態 - 実験と理論の連携 - 石田邦夫 (東芝)

16:45 コーヒーブレイク

総合討論

17:05 総合討論

コーディネーター：

茂本勇 (産応協/東レ)

17:35 まとめ (10分) 茂本勇 (東レ)

18:00 懇談会

## 分野2

- ・ポスト「京」重点課題で、新たに実施予定の取組
- ②AICS、重点課題連携人材育成活動

現在、AICSの佐藤先生を中心として5分野、9重点課題から代表者が参画し、次世代の人材育成のあり方と実施すべき内容を検討中で平成27年度末に答申を出す。平成28年度からは、AICS,RIST、9重点課題の連携として、分野2が実施してきた計算科学特論の配信講義を発展させた形で実施予定。

### 3. 定量的評価は難しいが、ターゲットマーケットの規模を説明することもある。

#### <補足資料>

- ・「我が国企業の国際競争ポジションの定量的調査」経産省資料  
(株)富士キメラ総研2014レポート)

[http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2014fy/E004082.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2014fy/E004082.pdf)

- ・「国産メタンハイドレート3・3兆円資源 経済産業省が初の試算」(産経ニュース、2016.3)

<http://www.sankei.com/life/news/160318/lif1603180003-n1.html>

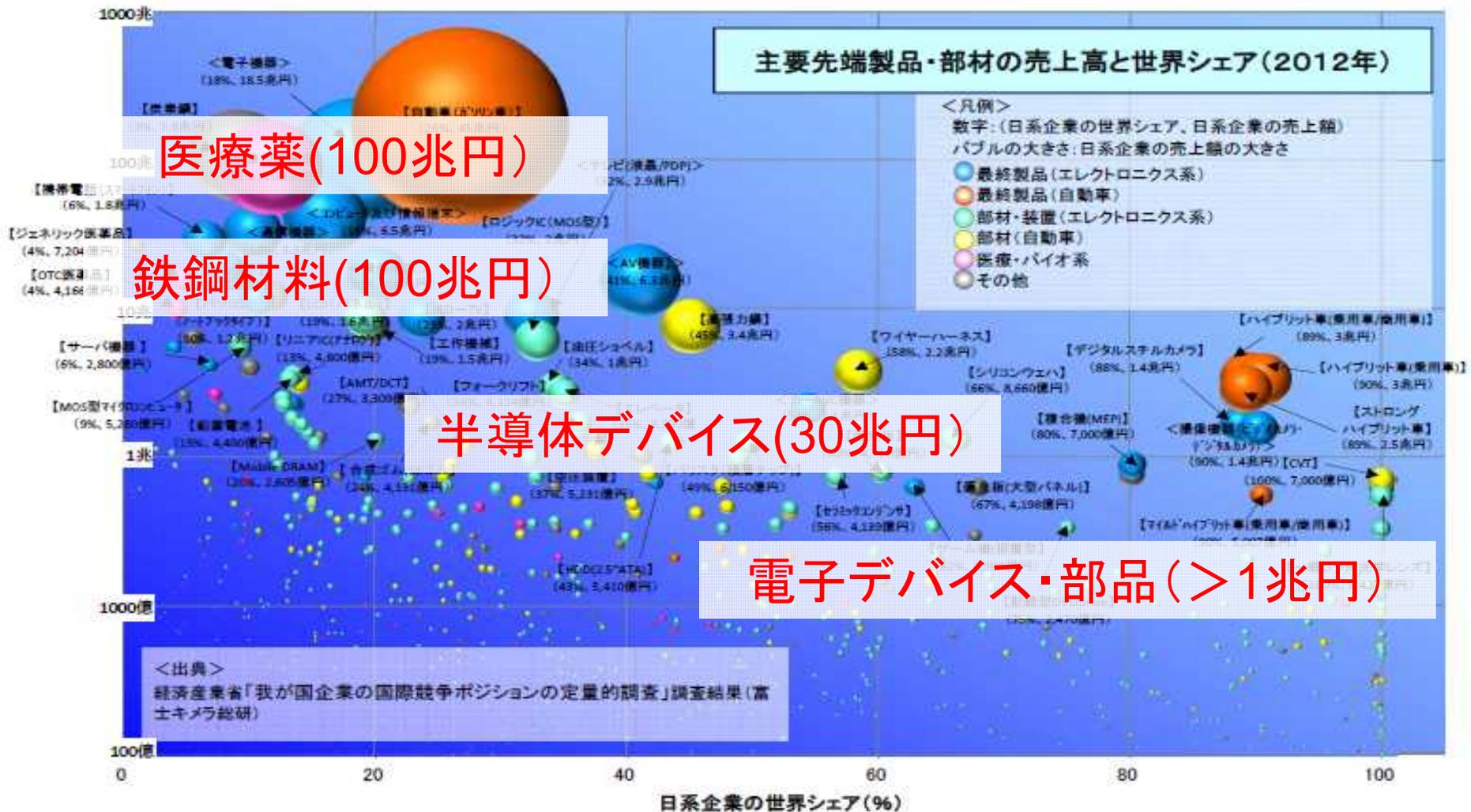
- ・蓄電池産業の現状と発展に向けた考察(株)日本政策投資銀行、2013年)

[http://www.dbj.jp/pdf/investigate/area/kansai/pdf\\_all/kansai1303\\_01.pdf](http://www.dbj.jp/pdf/investigate/area/kansai/pdf_all/kansai1303_01.pdf)

# (補足)新物質創成のターゲット 日本の材料・デバイス国際競争力強化

## 世界の最終製品を支える日本の部材事業環境

世界市場規模(円)



# (補足)新エネルギー創成のターゲット 日本が先行する電池・ハイドレート

◆物質によるエネルギー変換技術

◆日本が期待する日本海溝の資源「メタンハイドレート」

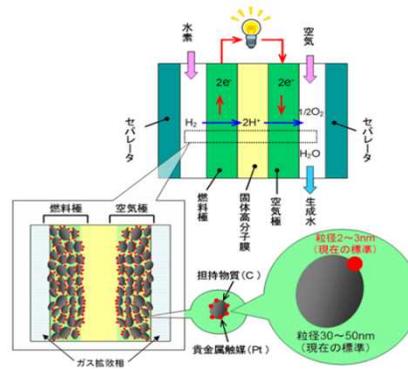
## リチウムイオン電池



電気自動車

市場規模: 4兆円/2020年

## 燃料電池



## 家庭用燃料電池



燃料電池自動車

2030年頃に6.5兆円市場へ

## メタンハイドレート

・日本のエネルギー  
100年分が埋蔵。



市場規模3.3兆円