



リカレントニューラルネットワークによる高解像度流体解析コードの開発

1. 研究の目的 ものづくりにおける設計アイデア探索のための“高解像度流体解析コード”の開発

⇒ 航空機、船舶、風力発電ファーム等の設計で“小型流動制御デバイスの形状を解像できる微細スケール”から、“機体、船体、風車等のまるごとスケール”までを同時に解析し、局所形状の連続的な変化が全体の流動をどのように変えていくか？をリアルタイム応答で観察できるツールを実現し、創造的なものづくり設計を可能にする。

2. 次世代超高速計算機による具体的な達成目標と方法 (←東北大学サイバーサイエンスセンターSX-ACEの利用経験から設定)

(1)「多速さ格子ガス法4次元FCHCモデル+1格子点1ビット幅の時間発展計算」により“基盤構築”を目指す。

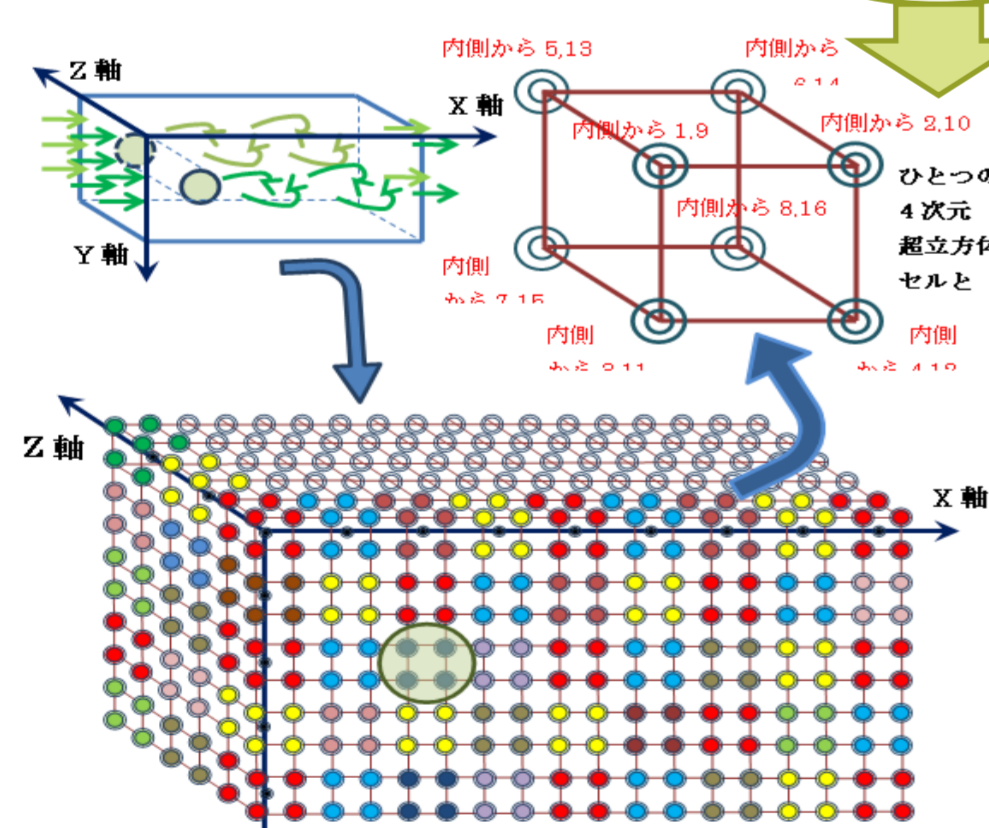
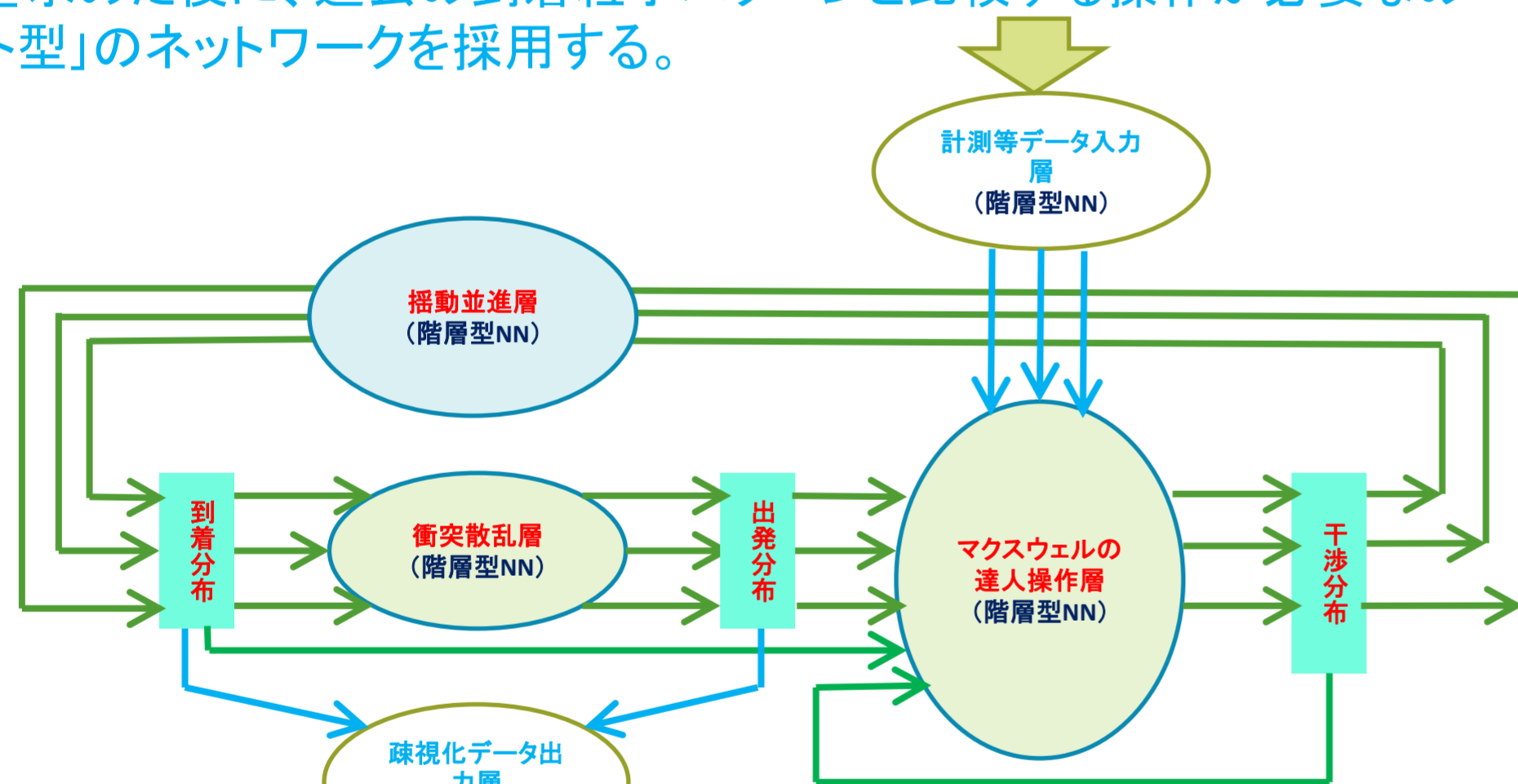
- ①固体壁形状変化へのリアルタイム応答計算： ⇒ 1億格子点規模の連続可視化感度解析を単相流で実現
- ②試作・実験レベルを超える精度の詳細計算： ⇒ 1兆格子点規模の高解像度単相流過渡変化を1日で計算
- ③どんな流動挙動にも答えをだせる頑強計算： ⇒ 激しく変化する乱流もビット演算時間発展計算で安定算出

(2)「階層型リカレントニューラルネットワーク計算」+「マクスウェルの達人操作」により“新展開”を目指す。

- ①格子点数を増やさずにゼロ近傍正粘性計算： ⇒ 到着粒子と出発粒子の確率差を個別粒子操作で強調
- ②初期条件・境界条件が不明でもそれなり計算： ⇒ 計測データ等が与えられた時空間から自己組織化伝達

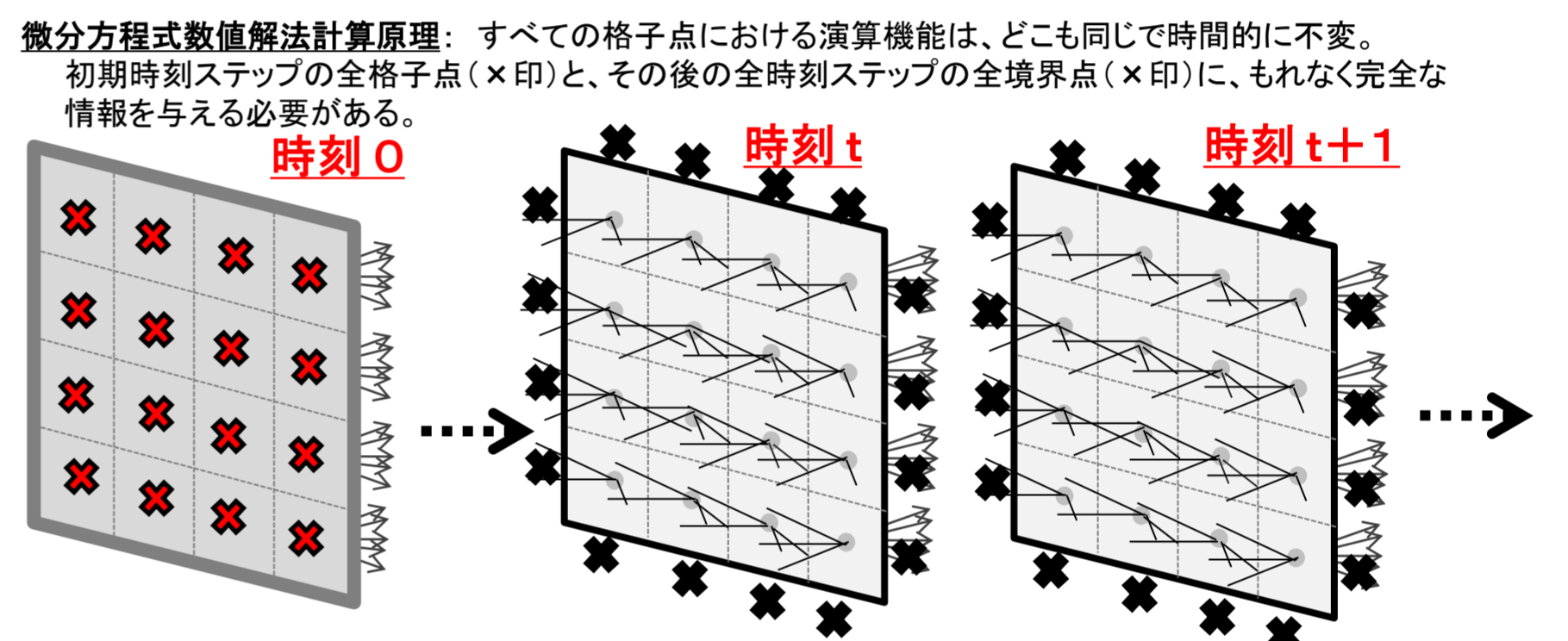
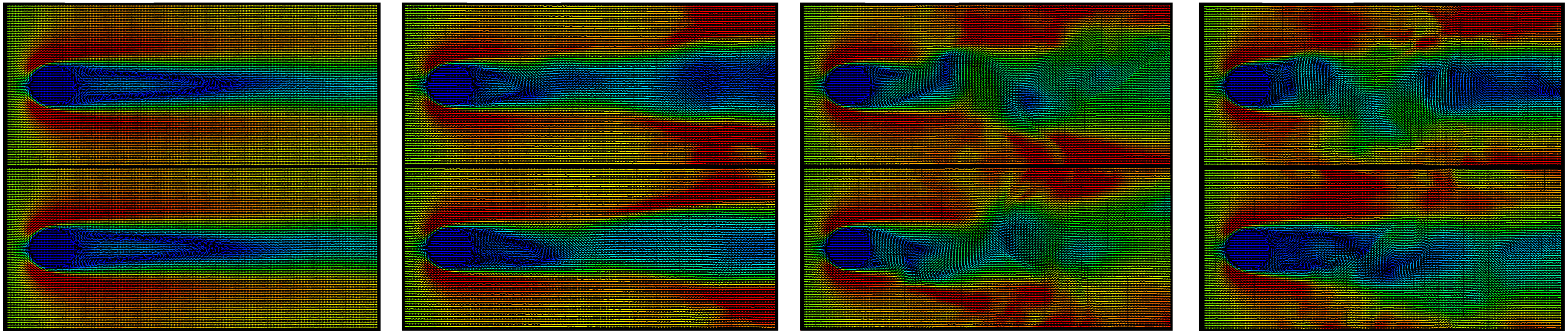
☆“実世界流体場”を“多層パーセプトロン格子”で表現する。(説明可能なAI)

“多速さ格子ガス法”では、多数の仮想粒子が「衝突」と「並進」を繰り返しながら格子点間を移動する様子を疎視化してマクロな流体挙動を得る。開発中の非熱流体解析コードの場合、仮想粒子は48個の向きに移動可能で、各格子点での衝突は、「到着粒子の各向き存否パターン」を「出発粒子の各向き存否パターン」に変換する階層型ニューラルネットワークで表現できる。“粘性制御”では、出発粒子パターンを求めた後に、過去の到着粒子パターンと比較する操作が必要なので「リカレント型」のネットワークを採用する。



1. 解像したいひとつひとつの微細領域を、離散化された“格子点”とみなし、格子ガス法で仮想粒子が衝突散乱する各格子点を“多層パーセプトロン”に対応させる。(cf.右上図では、物理空間を2次元で表現。)
2. 各格子点では、時間進展に伴って、質量、運動量、エネルギーなどの物理量が周辺格子点から入力され、ある情報処理(演算処理)がなされた後に、周辺格子点へ出力される。このとき、各格子点において局所分散になされる演算が簡単な内容であっても、各格子点間で情報のやりとりを繰り返すうちに、複雑に見える大局的な挙動も自己組織化により自動的に生成されてくる。
3. もし、初期条件と境界条件に関する知識が欠如し、ランダムに仮定された数値が、初期時刻ステップの格子点やそれ以降の時刻ステップにおける境界上の格子点に入力されていたとしても、その値を前提にした重み(1.0発生)の頻度の逐次修正がところどころで与えられる計測情報をもとに各格子点で実行されるので、必要な領域においては、妥当なシミュレーション結果を常に出力できるようになる。(以上、新技術振興渡辺記念会による調査研究助成による)

図：3次元円柱後流：達人操作層において、仮想粒子の左右揺動を意図的に制御して流体粘性を自由に制御した例 (cf. SENAC Vol.52, No.2(2019.4))



AI学習推論計算原理：初期時刻ステップの全格子点(白×印)と、その後の時刻ステップの境界格子点(白×印)には、不明の乱数入力で構わない。各時刻ステップごとに全格子点(ニューロン群)がもつ演算機能(積和の計算)が正しい出力を出すように個別にフィードバック修正(弧状矢印)する。

