

FDPSの概要説明

行方大輔

理化学研究所 計算科学研究機構

粒子系シミュレータ開発チーム

エクサスケールコンピューティング開発プロジェクト コデザインチーム

2016/07/06 AICS/FOCUS 共催 FDPS 講習会

FDPSとは

- Framework for Developing Particle Simulator
- 大規模並列粒子シミュレーションコードの開発を支援するフレームワーク
- 重力N体、SPH、分子動力学、粉体、 etc.

• 支配方程式

$$\frac{d\vec{u}_i}{dt} = \vec{g} \left(\sum_j^N \vec{f}(\vec{u}_i, \vec{u}_j), \vec{u}_i \right)$$

粒子データのベクトル

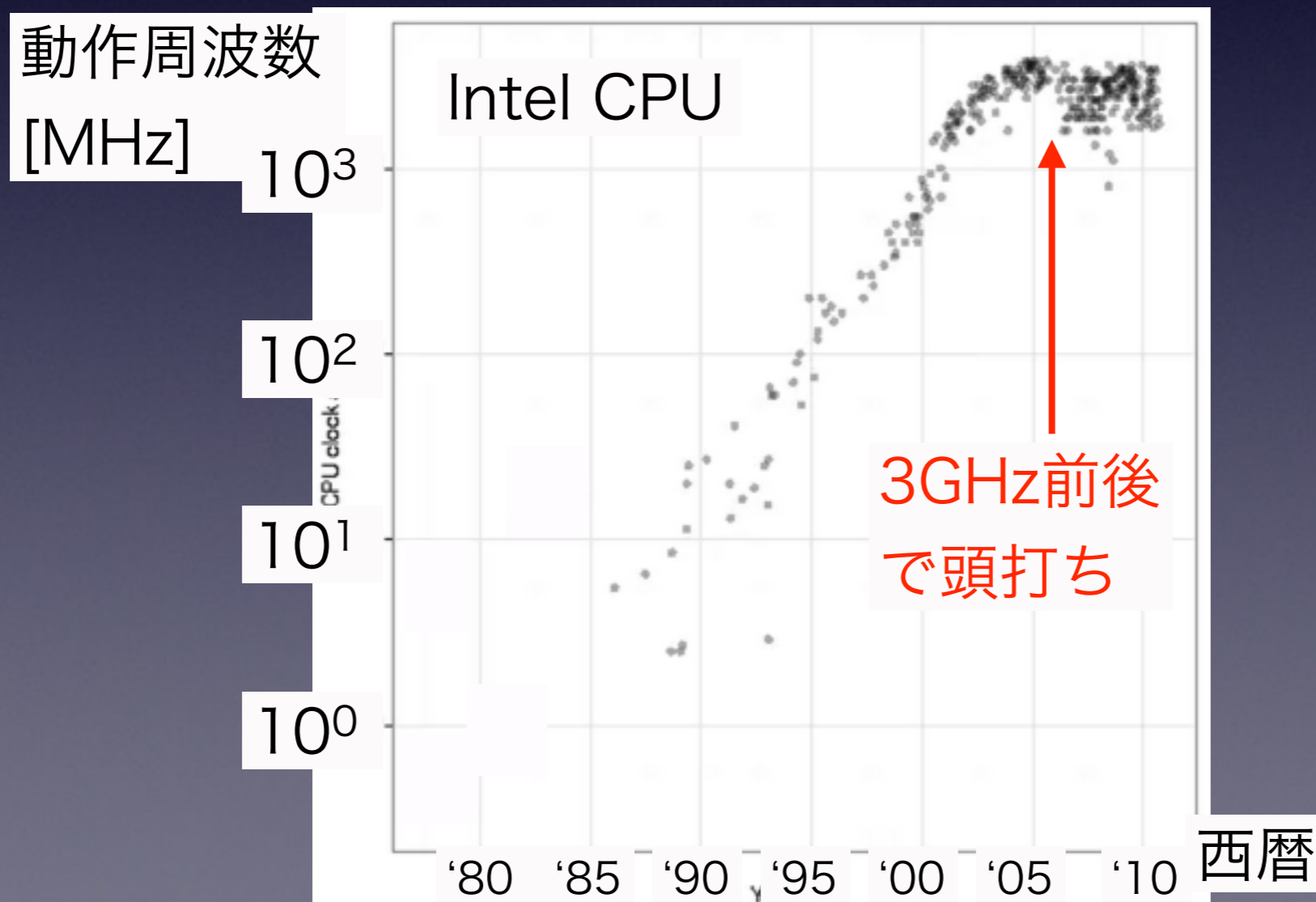
粒子の持つ物理量をその導関数に変換する関数

粒子間相互作用を表す関数

大規模並列粒子

シミュレーションの必要性

- ・ 大粒子数で積分時間の長いシミュレーション
- ・ 逐次計算の速度はもう速くならない



大規模並列

粒子シミュレーションの困難

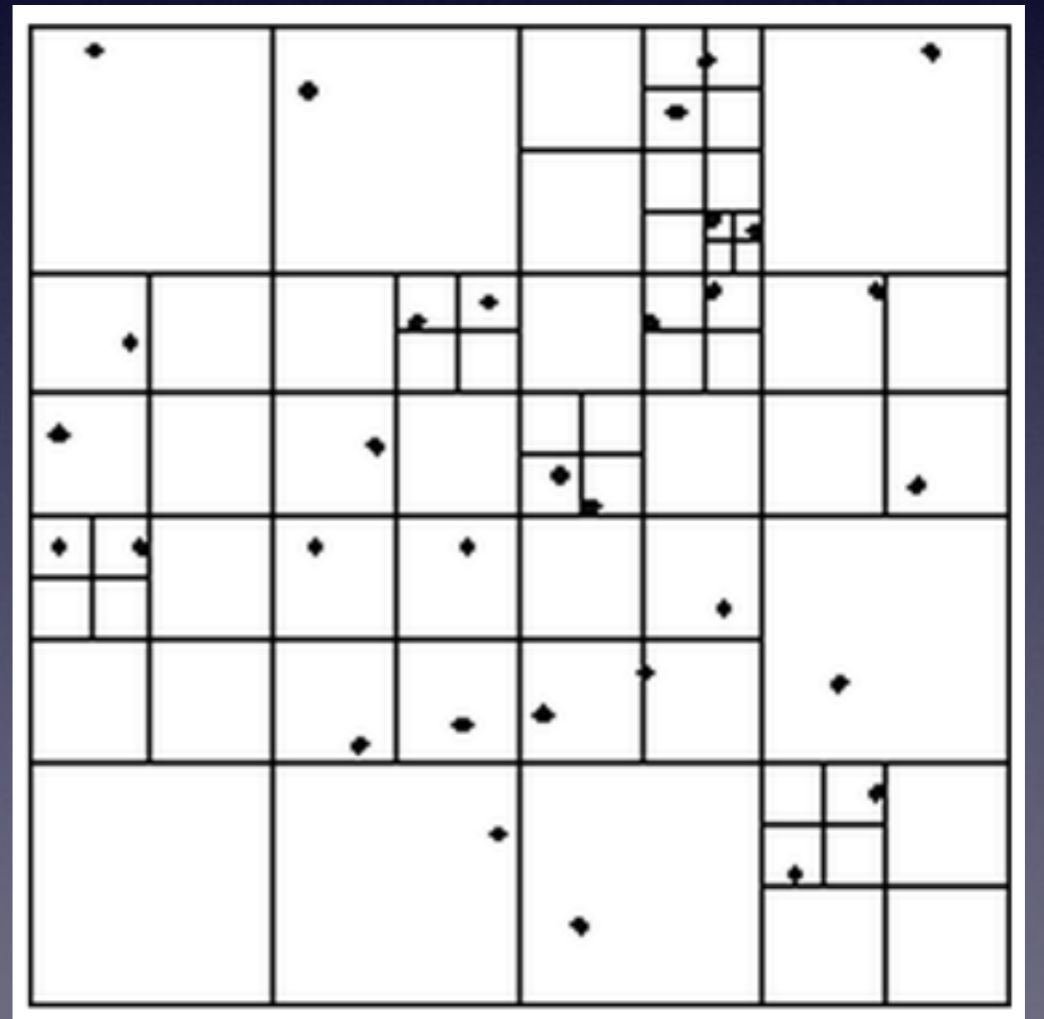
- ・ 分散メモリ環境での並列化
 - ・ 計算領域の分割と粒子データの交換
 - ・ 相互作用計算のための粒子データの交換
- ・ 共有メモリ環境での並列化
 - ・ ツリー構造のマルチウォーク
 - ・ 相互作用計算の負荷分散
- ・ 1コア内での並列化
 - ・ SIMD演算器の有効利用

実は並列でなくとも、、、

- ・ キャッシュメモリの有効利用
- ・ ツリー構造の構築

$$\frac{d\vec{u}_i}{dt} = \vec{g} \left(\sum_j^N \vec{f}(\vec{u}_i, \vec{u}_j), \vec{u}_i \right)$$

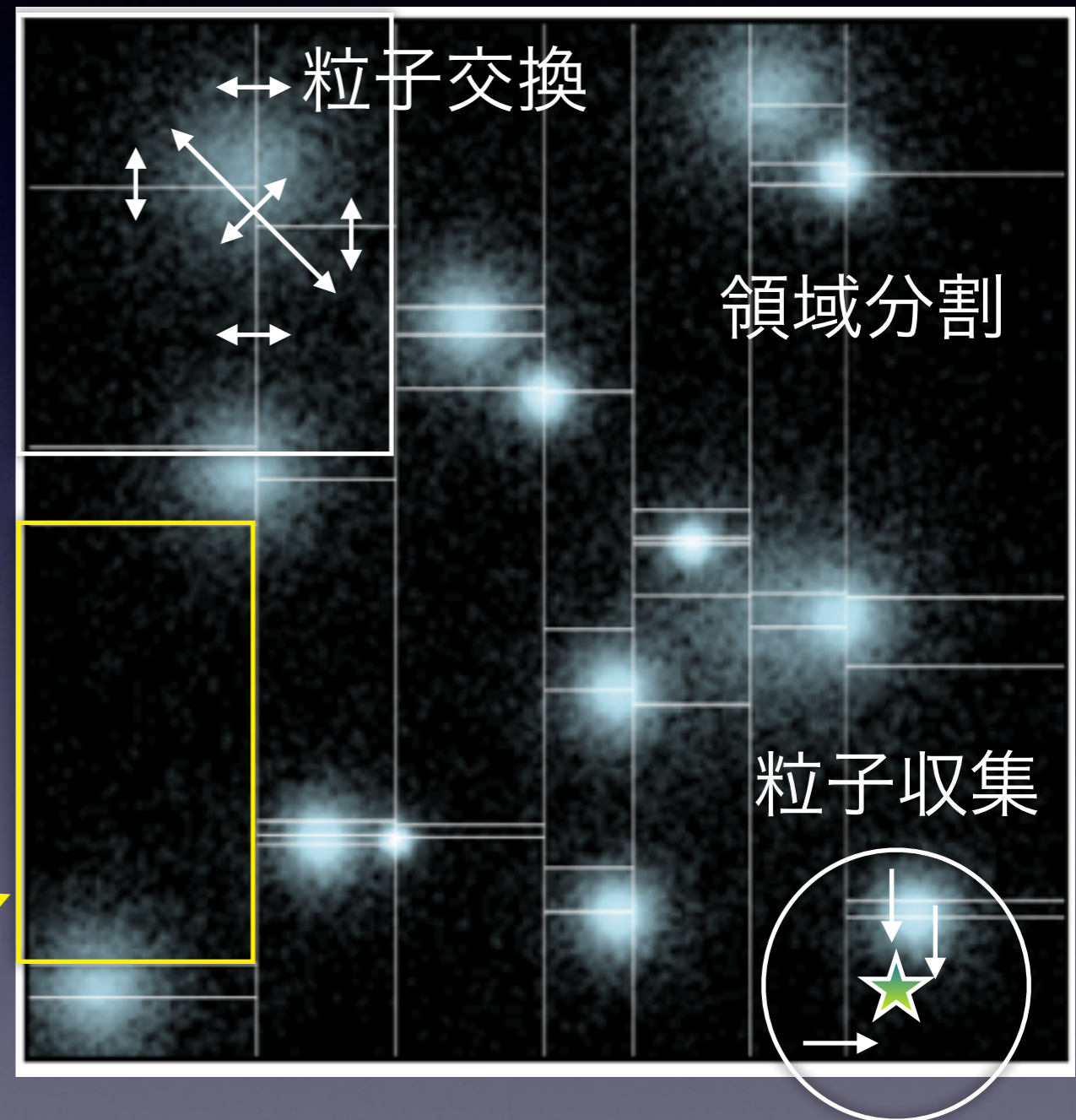
高速にNを小さい数に
減らす方法



粒子シミュレーションの手順

- ・ 計算領域の分割
- ・ 粒子データの交換
- ・ 相互作用計算のための粒子データの収集
- ・ 実際の相互作用の計算
- ・ 粒子の軌道積分

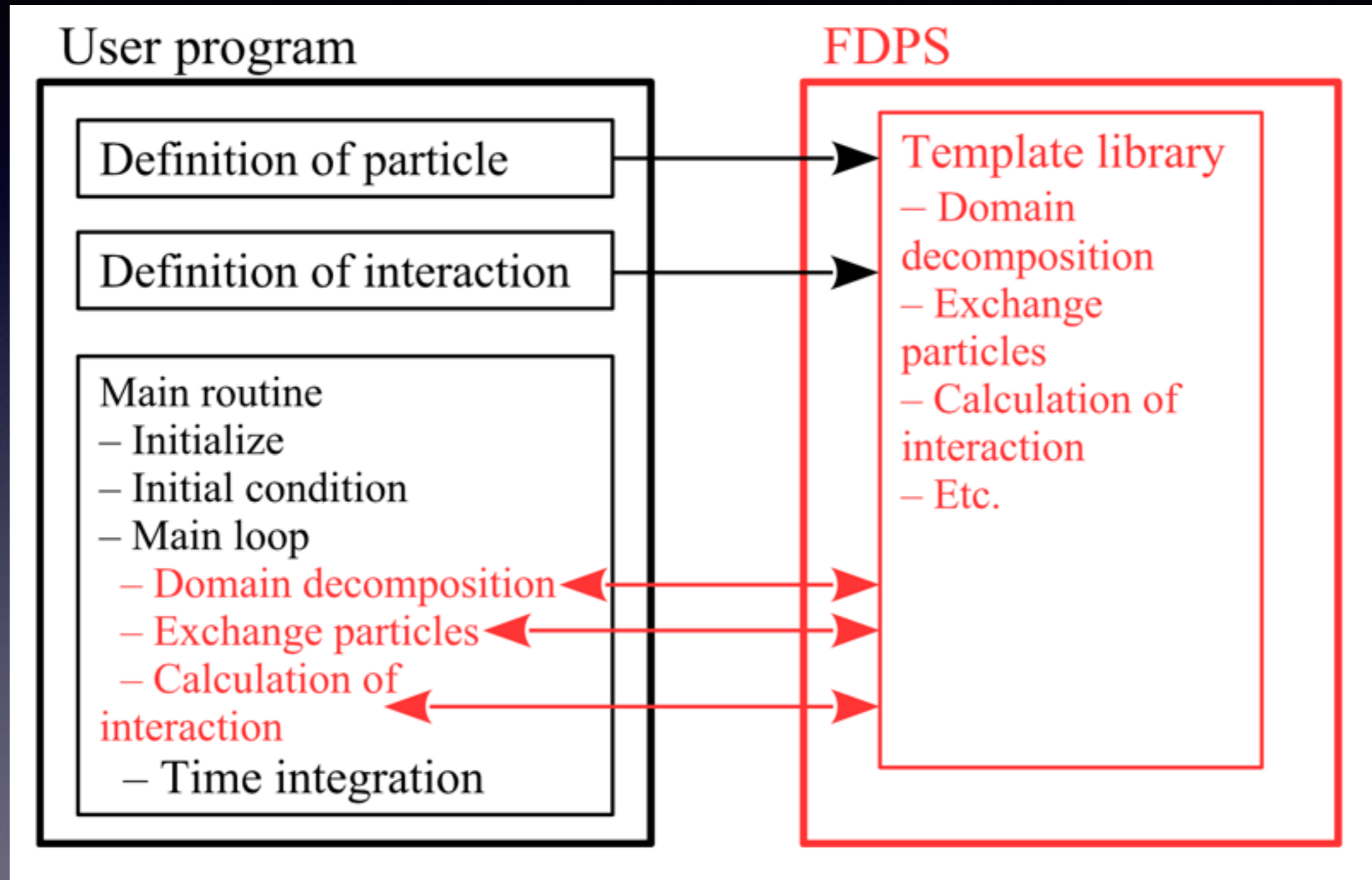
1つのプロセスが
担当する領域



FDPSの実装方針(1)

- ・ 内部実装の言語としてC++を選択
 - ・ 高い自由度
 - ・ 粒子データの定義にクラスを利用
 - ・ 相互作用の定義に関数ポインタ・関数オブジェクトを利用
 - ・ 高い性能
 - ・ 上のクラス・関数ポインタ・関数オブジェクトを受け取るためにテンプレートクラスを利用
 - ・ コンパイル時に静的にコード生成するため

FDPSの基本設計



ユーザーはC++の一部の知識を必要とする

サンプルコード(N体)

FDPSのインストール(ヘッダファイルを含めるだけ)

粒子データの定義
(C++のクラス)

粒子間の相互作用の定義
(C++の関数オブジェクト
または関数ポインタ)

メインルーチン(メイン
関数)の実装

大規模並列N体コードが
117行で書ける!

```
Listing 1 shows the complete code which can be actually
compiled and run, not only on a single-core machine but
also massively-parallel, distributed-memory machines such
as the full-node configuration of the K computer. The total
number of lines is only 117.

Listing 1: A sample code of N-body simulation
1 #include <particle_simulator.hpp>
2 using namespace PS;

3
4 class Nbody{
5 public:
6     F64    mass, eps;
7     F64vec pos, vel, acc;
8     F64vec getPos() const {return pos;}
9     F64    getCharge() const {return mass;}
10    void copyFromFP(const Nbody &in){
11        mass = in.mass;
12        pos = in.pos;
13        eps = in.eps;
14    }
15    void copyFromForce(const Nbody &out) {
16        acc = out.acc;
17    }
18    void clear() {
19        acc = 0.0;
20    }
21    void readAscii(FILE *fp) {
22        fscanf(fp,
23              "%X1f%X1f%X1f%X1f%X1f%X1f",
24              &mass, &eps,
25              &pos.x, &pos.y, &pos.z,
26              &vel.x, &vel.y, &vel.z);
27    }
28    void predict(F64 dt) {
29        vel += (0.5 * dt) * acc;
30        pos += dt * vel;
31    }
32    void correct(F64 dt) {
33        vel += (0.5 * dt) * acc;
34    }
35 };

36
37 template <class TPJ>
38 struct CalcGrav{
39     void operator () (const Nbody * ip,
40                      const S32 ni,
41                      const TPJ * jp,
42                      const S32 nj,
43                      Nbody * force) {
44         for(S32 i=0; i<ni; i++){
45             F64vec xi = ip[i].pos;
46             F64    ep2 = ip[i].eps
47                 * ip[i].eps;
48             F64vec ai = 0.0;
49             for(S32 j=0; j<nj; j++){
50                 F64vec xj = jp[j].pos;
51                 F64vec dr = xi - xj;
52                 F64    mj = jp[j].mass;
53                 F64    dr2 = dr * dr + ep2;
54                 F64    dri = 1.0 / sqrt(dr2);
55                 ai -= (dri * dri * dri
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117

template<class Tpsys>
void predict(Tpsys &p,
             const F64 dt) {
    S32 n = p.getNumberofParticleLocal();
    for(S32 i = 0; i < n; i++)
        p[i].predict(dt);
}

template<class Tpsys>
void correct(Tpsys &p,
             const F64 dt) {
    S32 n = p.getNumberofParticleLocal();
    for(S32 i = 0; i < n; i++)
        p[i].correct(dt);
}

template <class TDI, class TPS, class TTFP>
void calcGravAllAndWriteBack(TDI &dinfo,
                             TPS &ptcl,
                             TTFP &tree) {
    dinfo.decomposeDomainAll(ptcl);
    ptcl.exchangeParticle(dinfo);
    tree.calcForceAllAndWriteBack
        (CalcGrav<Nbody>(),
         CalcGrav<SPJMonopole>(),
         ptcl, dinfo);
}

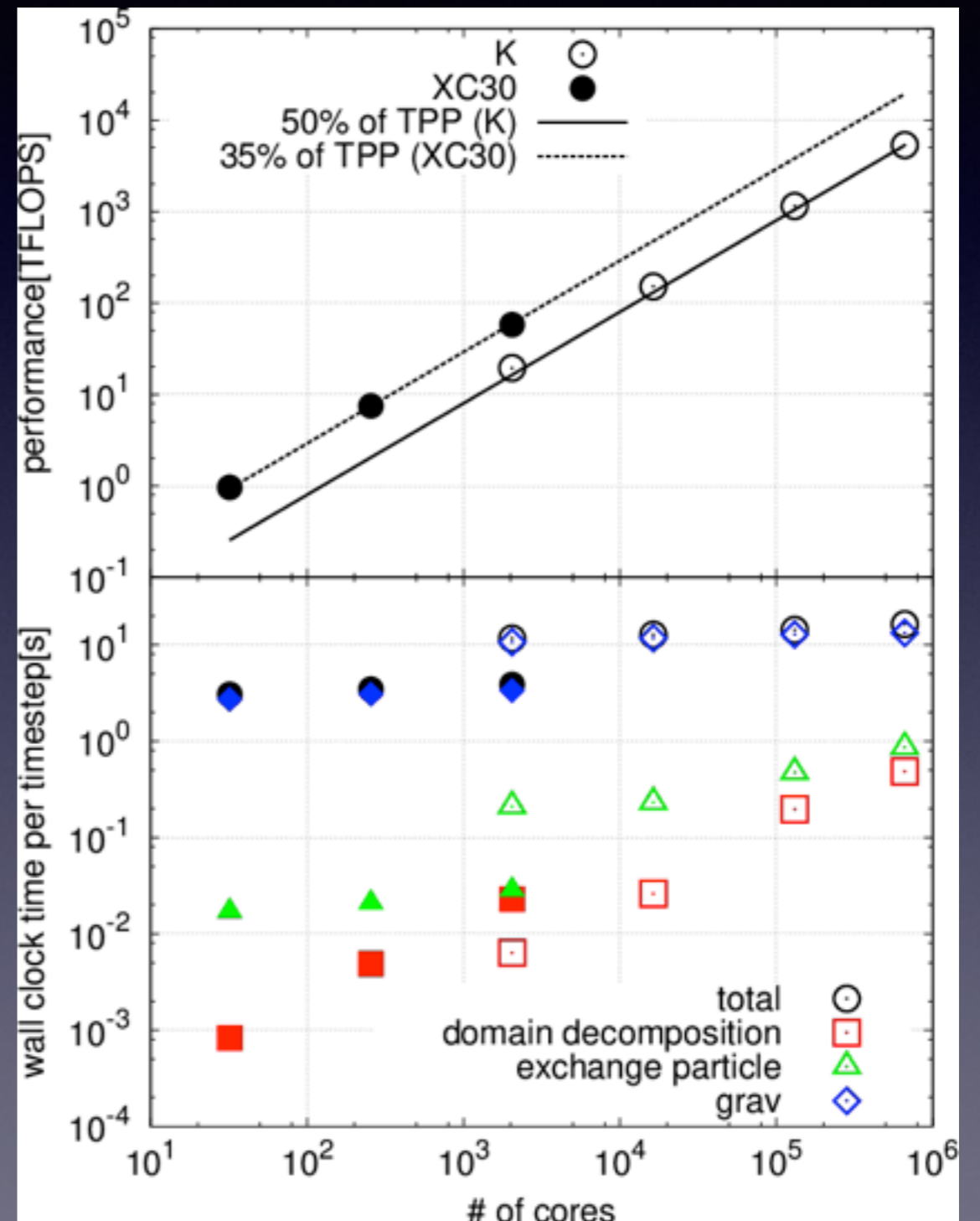
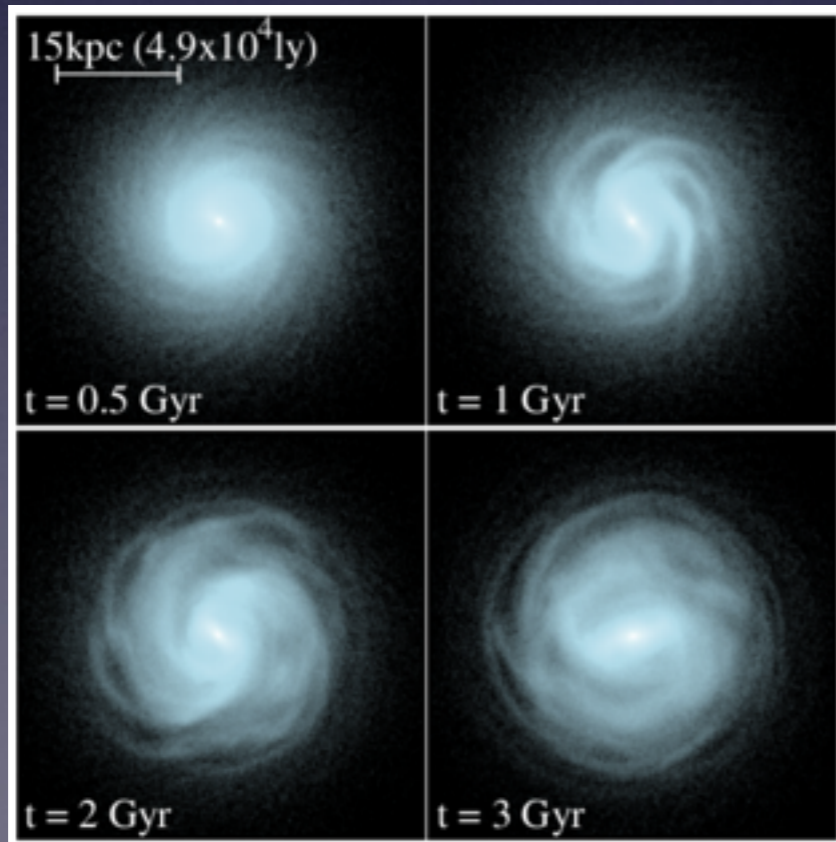
int main(int argc, char *argv[]) {
    F32 time = 0.0;
    const F32 tend = 10.0;
    const F32 dt = 1.0 / 128.0;
    PS::Initialize(argc, argv);
    PS::DomainInfo dinfo;
    dinfo.initialize();
    PS::ParticleSystem<Nbody> ptcl;
    ptcl.initialize();
    PS::TreeForForceLong<Nbody, Nbody,
    Nbody>::Monopole grav;
    grav.initialize(0);
    ptcl.readParticleAscii(argv[1]);
    calcGravAllAndWriteBack(dinfo,
                            ptcl,
                            grav);
    while(time < tend) {
        predict(ptcl, dt);
        calcGravAllAndWriteBack(dinfo,
                                ptcl,
                                grav);
        correct(ptcl, dt);
        time += dt;
    }
    PS::Finalize();
    return 0;
}
```

重要なポイント

- ・ ユーザーはMPIやOpenMPを考えなくてよい
- ・ 相互作用関数の実装について
 - ・ 2重ループ：複数の粒子に対する複数の粒子からの作用の計算
 - ・ チューニングが必要(FDPSチームに相談可)
 - ・ 除算回数の最小化
 - ・ SIMD演算器の有効利用

性能(N体)

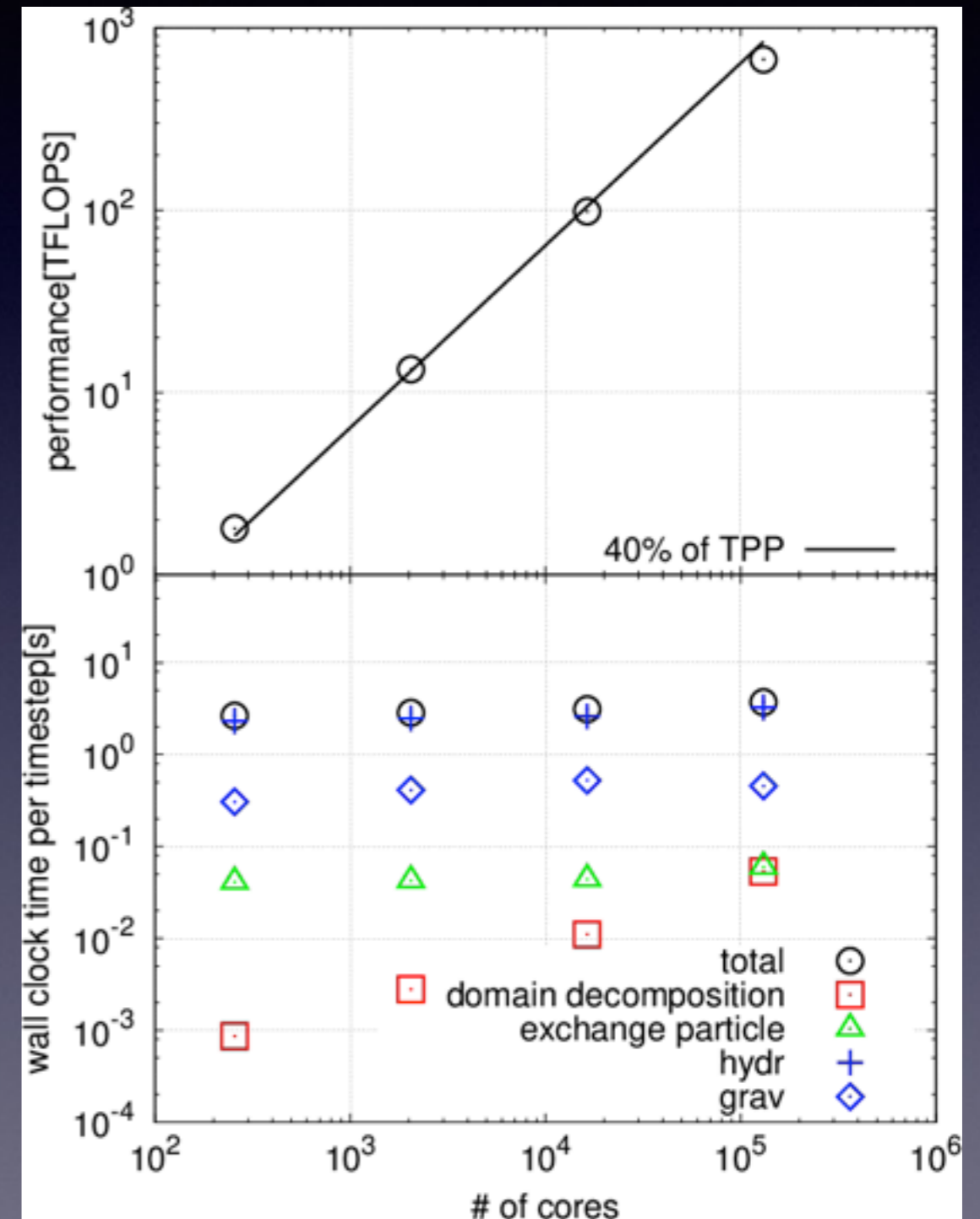
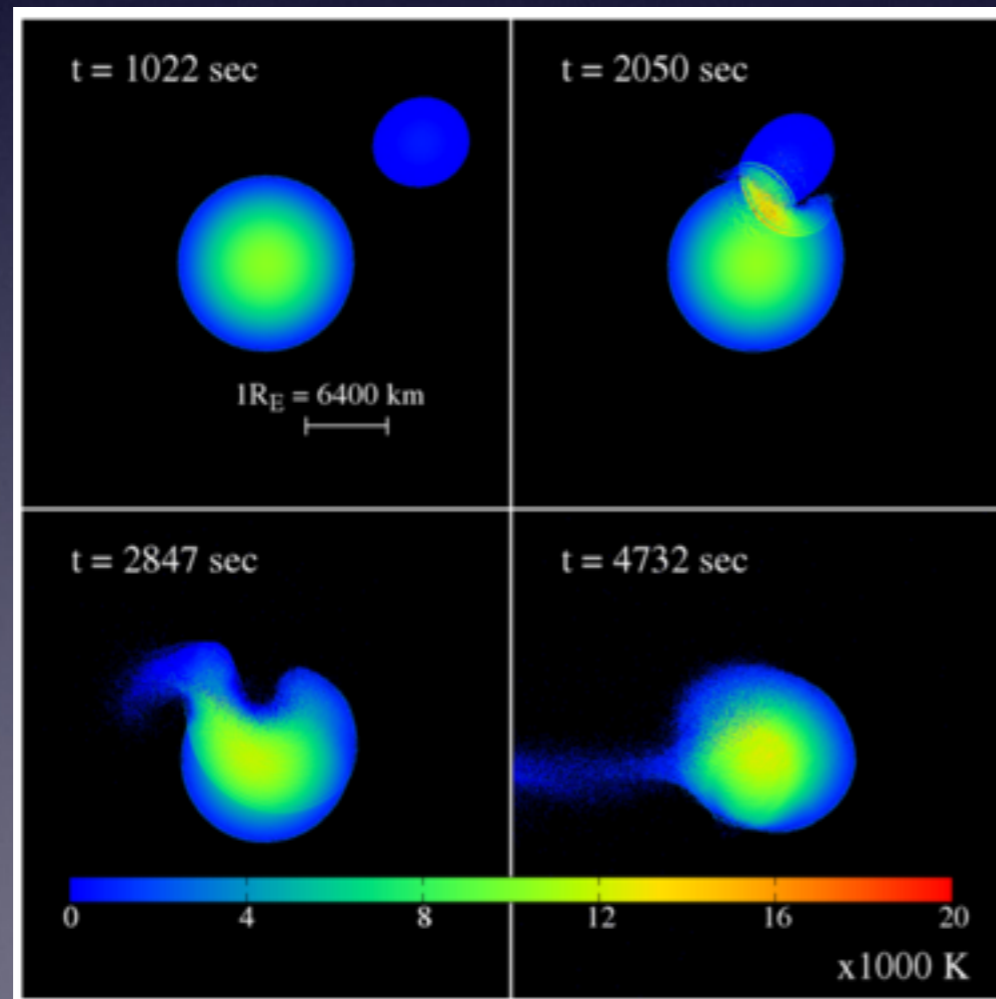
- ・ 円盤銀河
- ・ 粒子数: $2.7 \times 10^5 / \text{core}$
- ・ 精度: $\Theta = 0.4$ 四重極
- ・ 京コンピュータ, XC30



Iwasawa et al. (2016)

性能 (SPH)

- ・ 巨大衝突シミュレーション
- ・ 粒子数: 2.0×10^4 /core
- ・ 京コンピュータ



Iwasawa et al. (2016)

まとめ

- ・ FDPSは大規模並列粒子シミュレーションコードの開発を支援するフレームワーク
- ・ FDPSのAPIを呼び出すだけで粒子シミュレーションを並列化
- ・ N体コードを117行で記述
- ・ 京コンピュータで理論ピーク性能の40、50%の性能を達成