

修士課程中間発表 & 博士後期課程口述一次試験

分離反復解法による大規模非線形 固体力学シミュレーション

遊佐泰紀

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

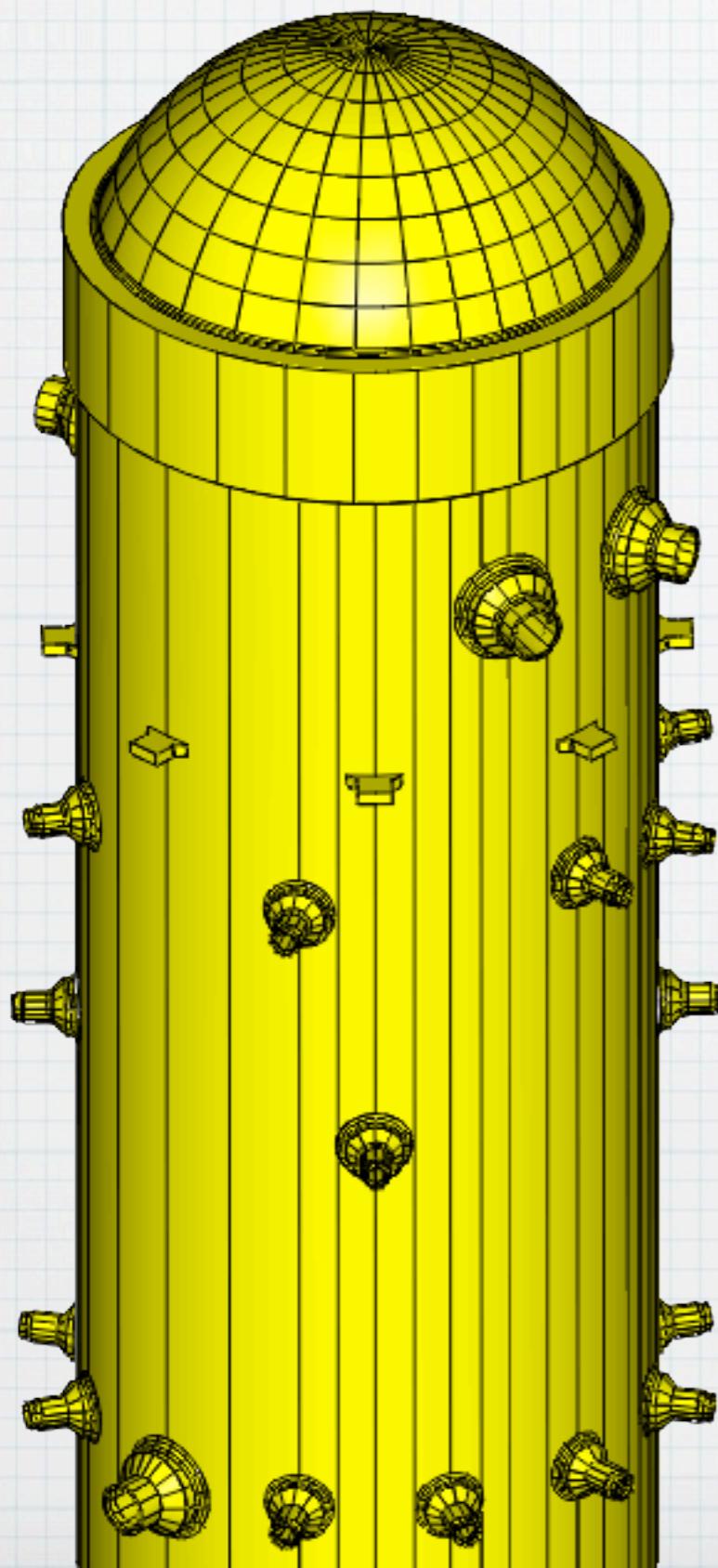
指導教員: 吉村忍 教授

2011 年 8 月 31 日

アウトライン

- * 背景と目的
- * 分離反復解法による非線形固体力学解析
 - * 疲労き裂進展解析
- * 大規模化のためのソルバー
- * 結論と今後の展望

大規模非線形固体力學問題



* 材料非線形

* 弹塑性、粘弹性、クリープ、.....

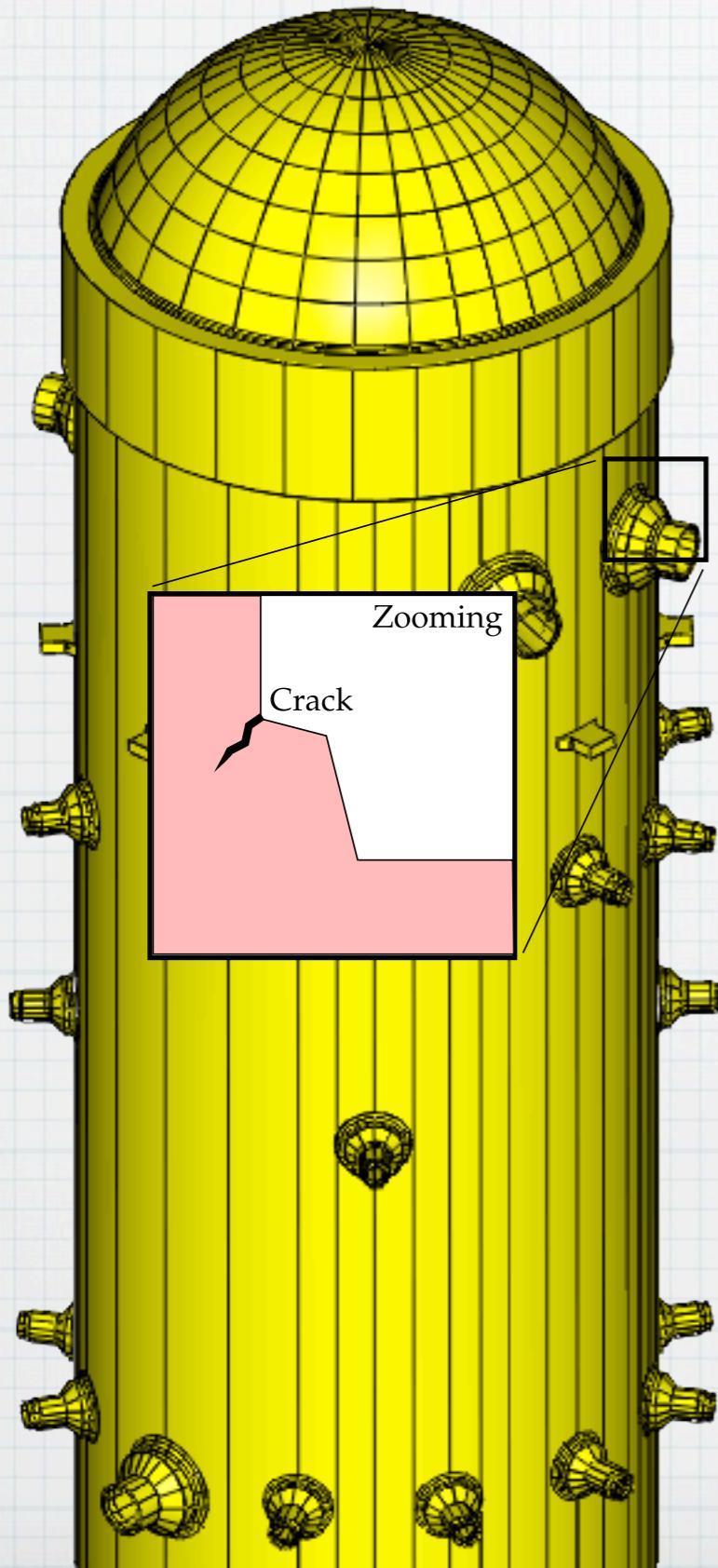
* 境界非線形

* 接触、摩擦、破壊、.....

* 幾何学非線形

* 大変形、大ひずみ、.....

大規模破壊力学解析の既存手法

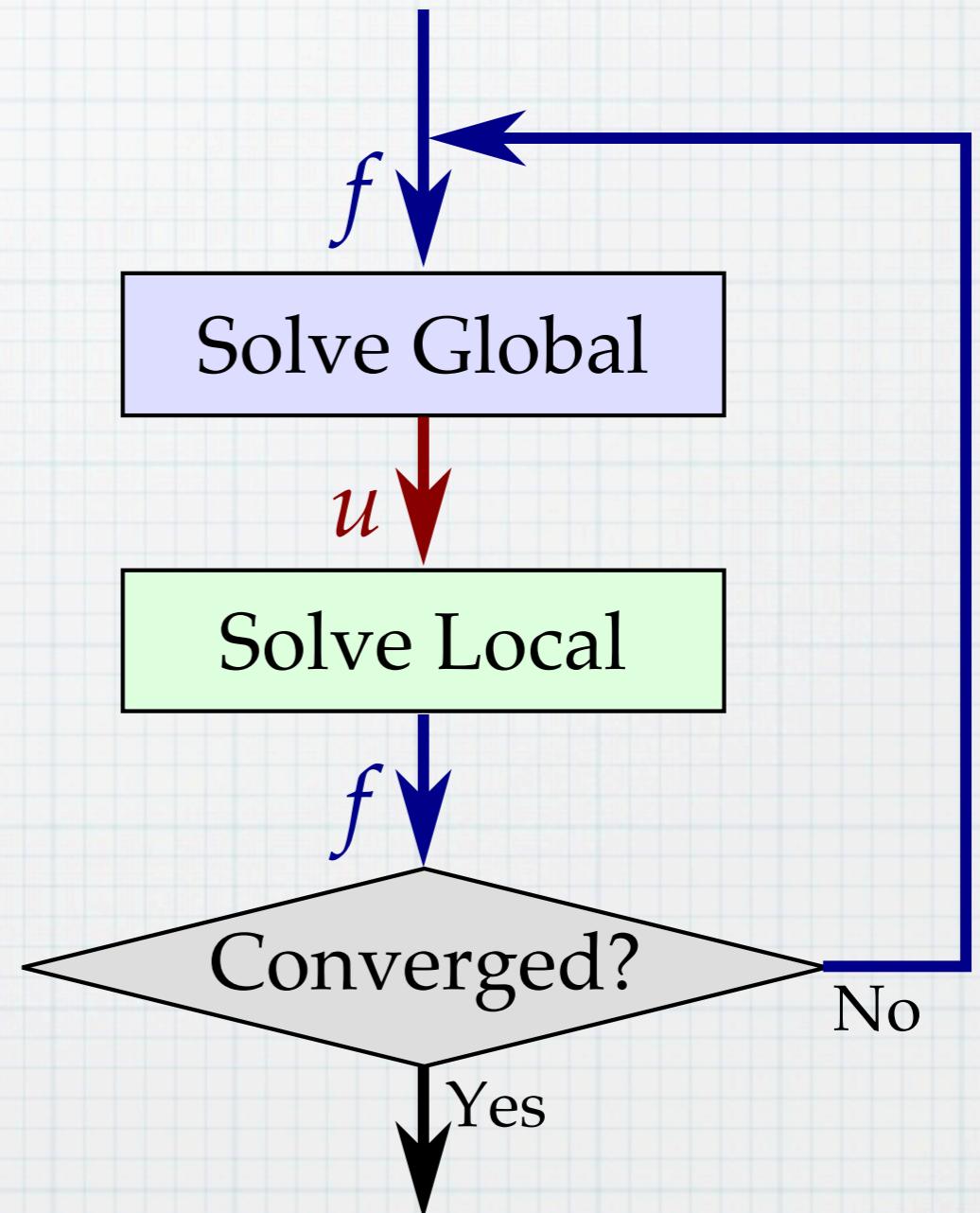
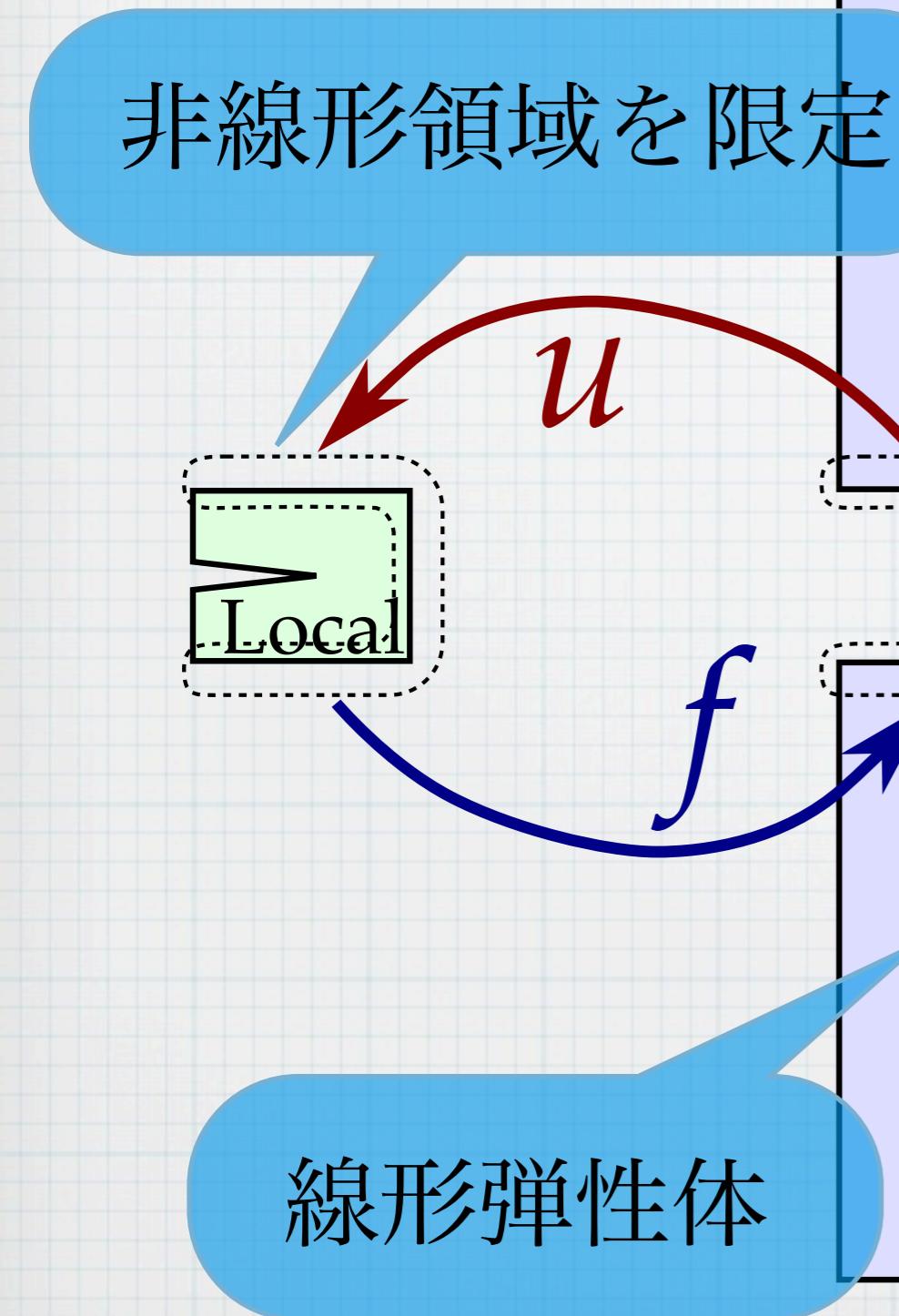


- * 通常の有限要素法
 - * 精度○、計算時間△
- * ズーミング法
 - * 精度×、計算時間○
- * 重合メッシュ法
 - * 精度○、大規模化に難あり

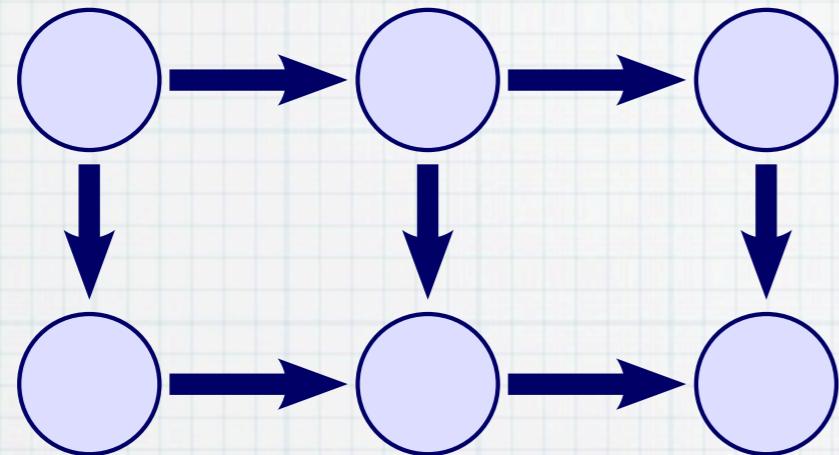
目的

- * 通常の有限要素法よりも速く、
- * ズーミング法よりも高精度に、
- * 重合メッシュ法で解けない大規模な非線形固体力学問題を解けるような手法を開発する。

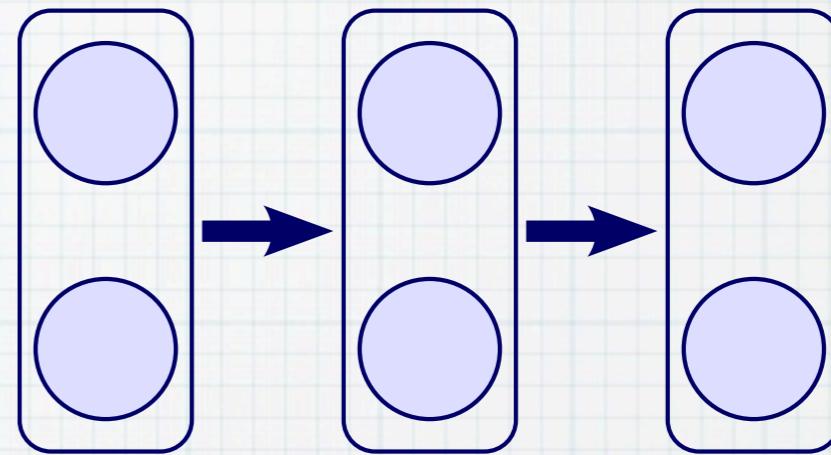
分離反復解法による非線形固体力学解析



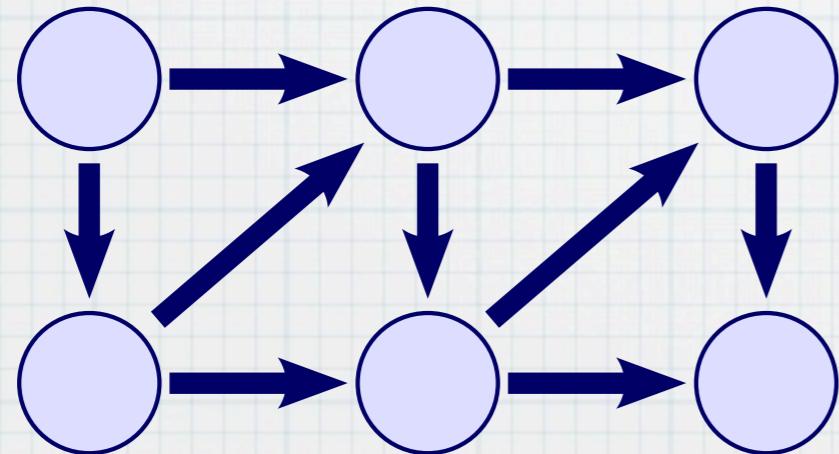
連成解析手法の分類



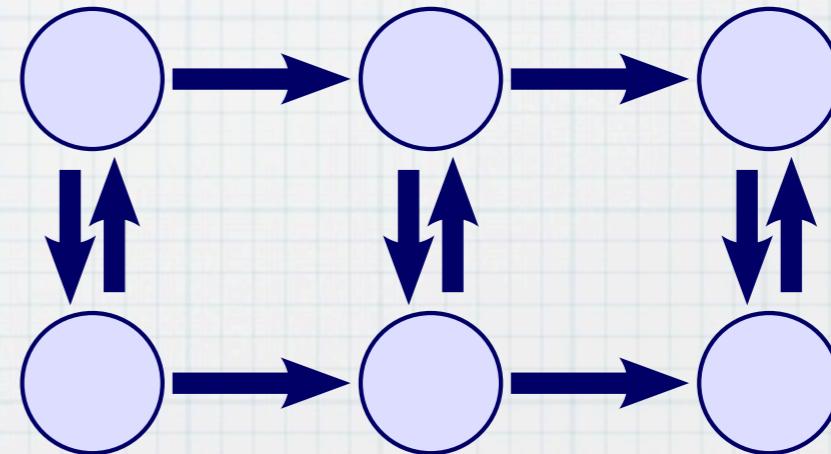
分離型片方向



一体型



分離型双方向時差解法

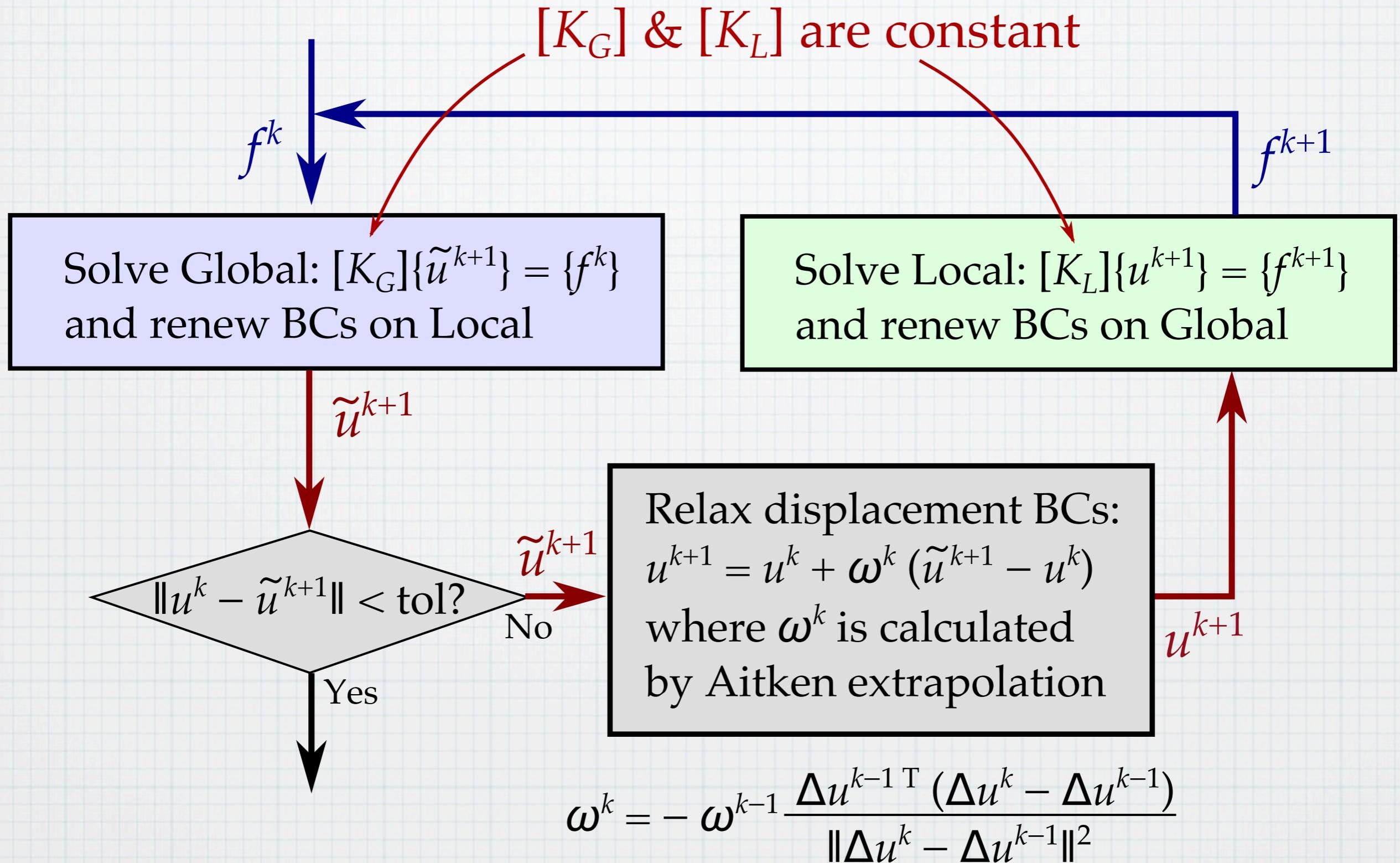


分離型双方向反復解法

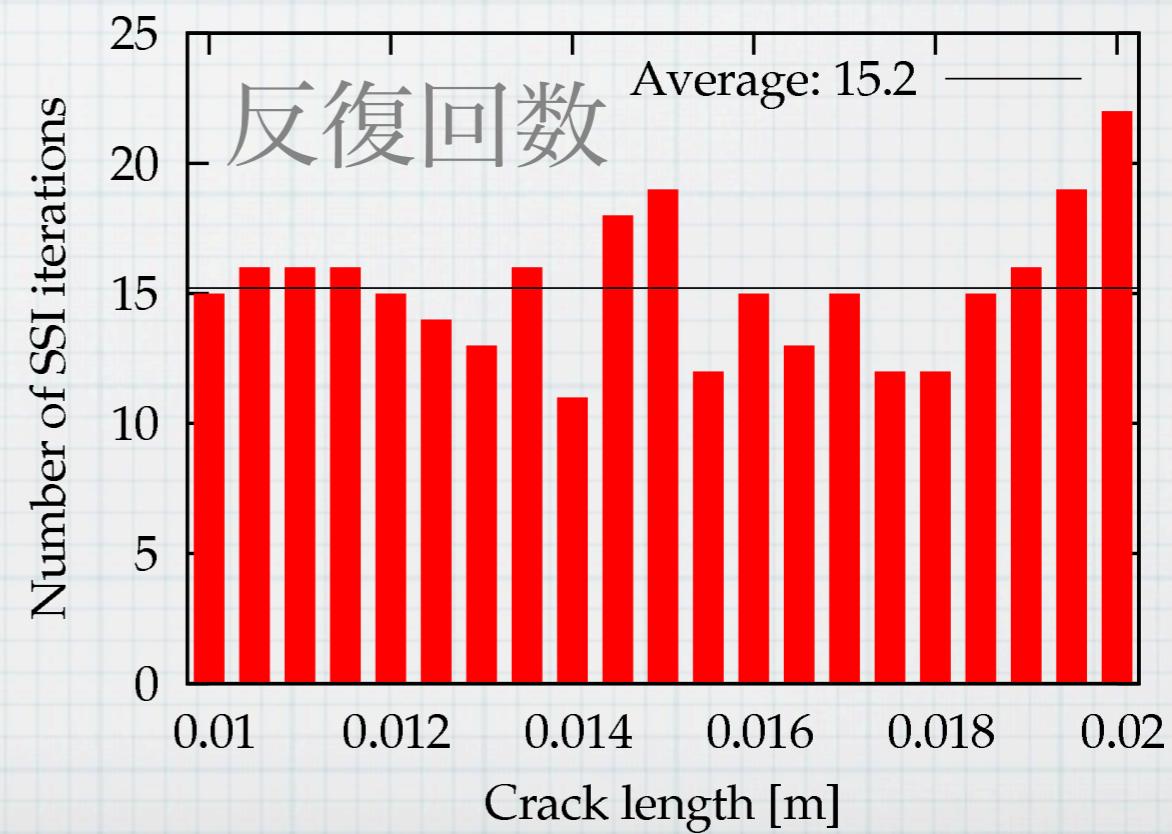
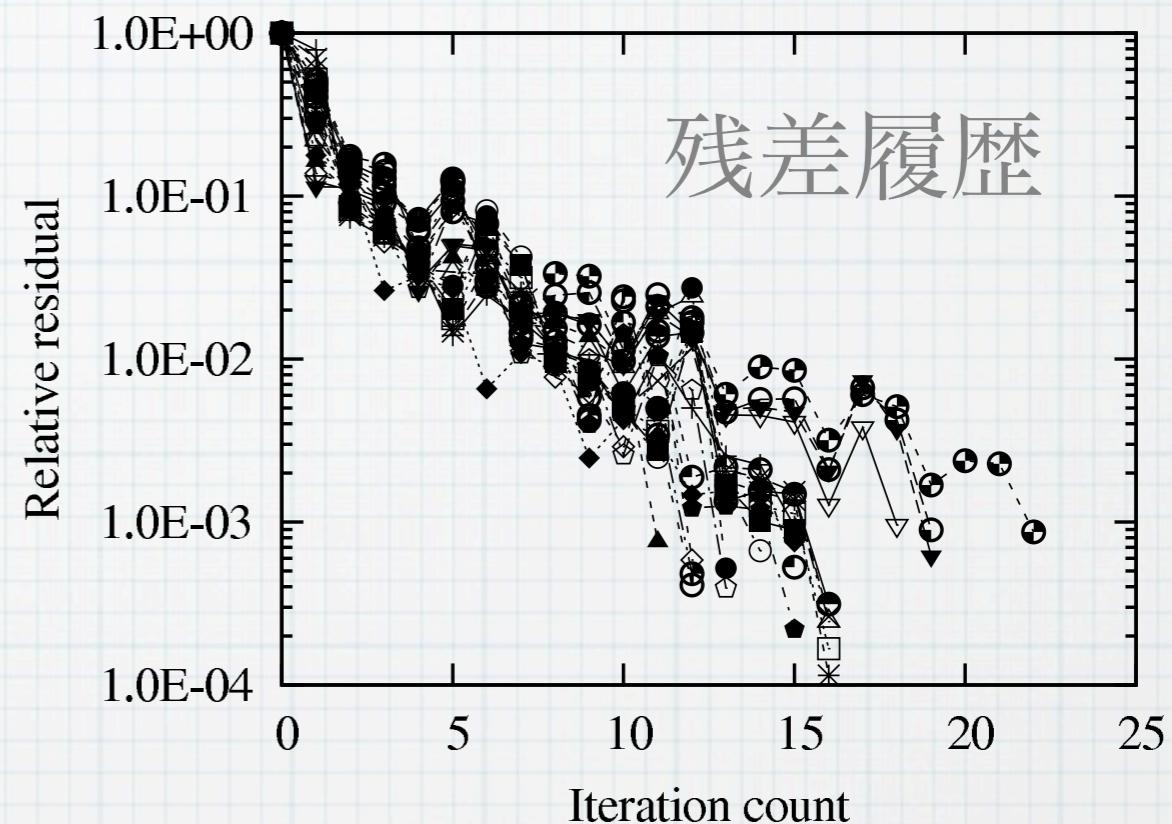
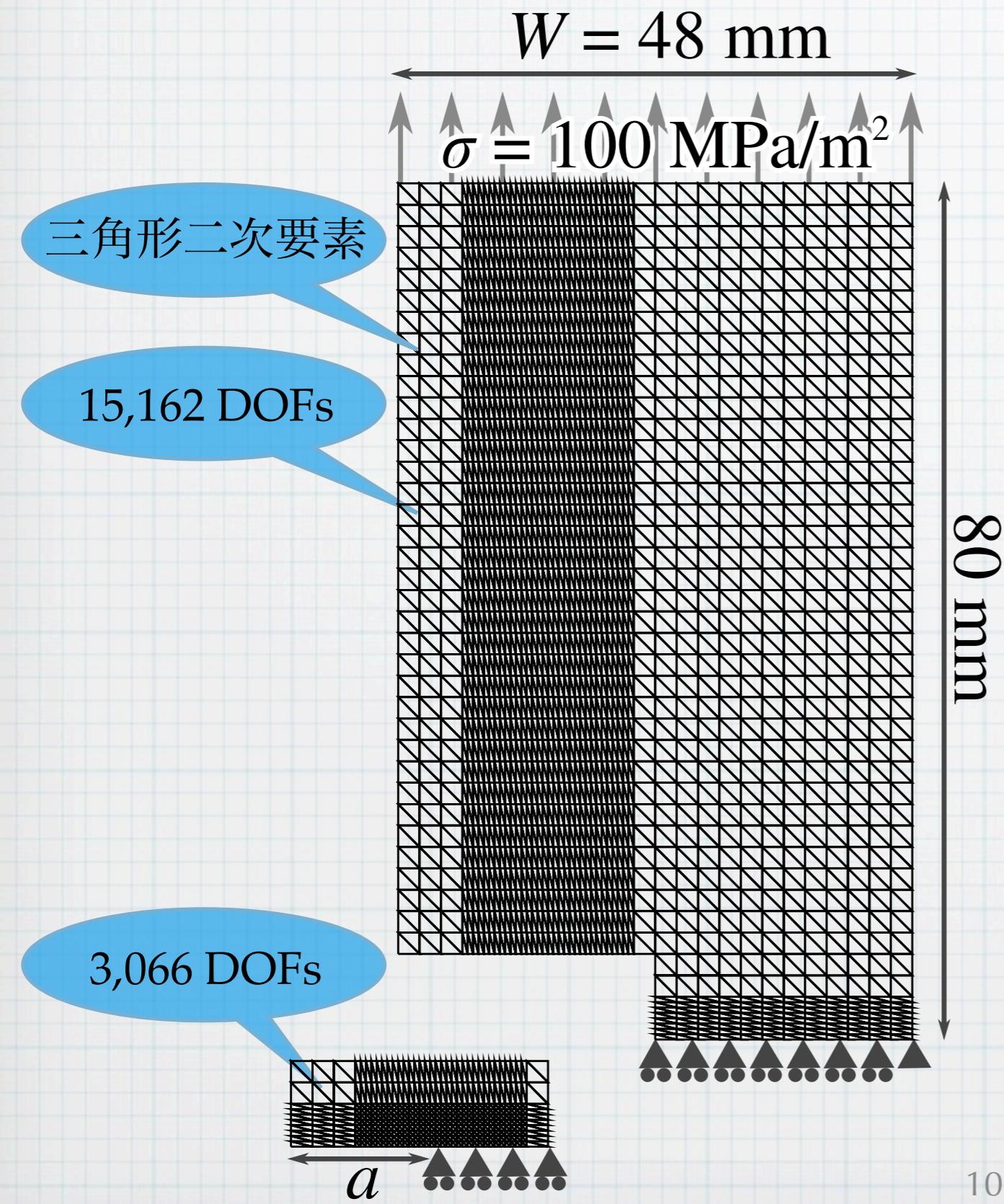
連成として見た非線形固体力学解析手法

		Overlapped	Non-overlapped	
分離型	片方向	ズーミング法	-	低精度
	双方向 時差解法	-	-	
一体型	双方向 反復解法	重合メッシュ法を 反復的に解く研究*	本手法	高精度
	重合メッシュ法	(通常の FEM)		

Aitken 補外付きブロック Gauss-Seidel 法

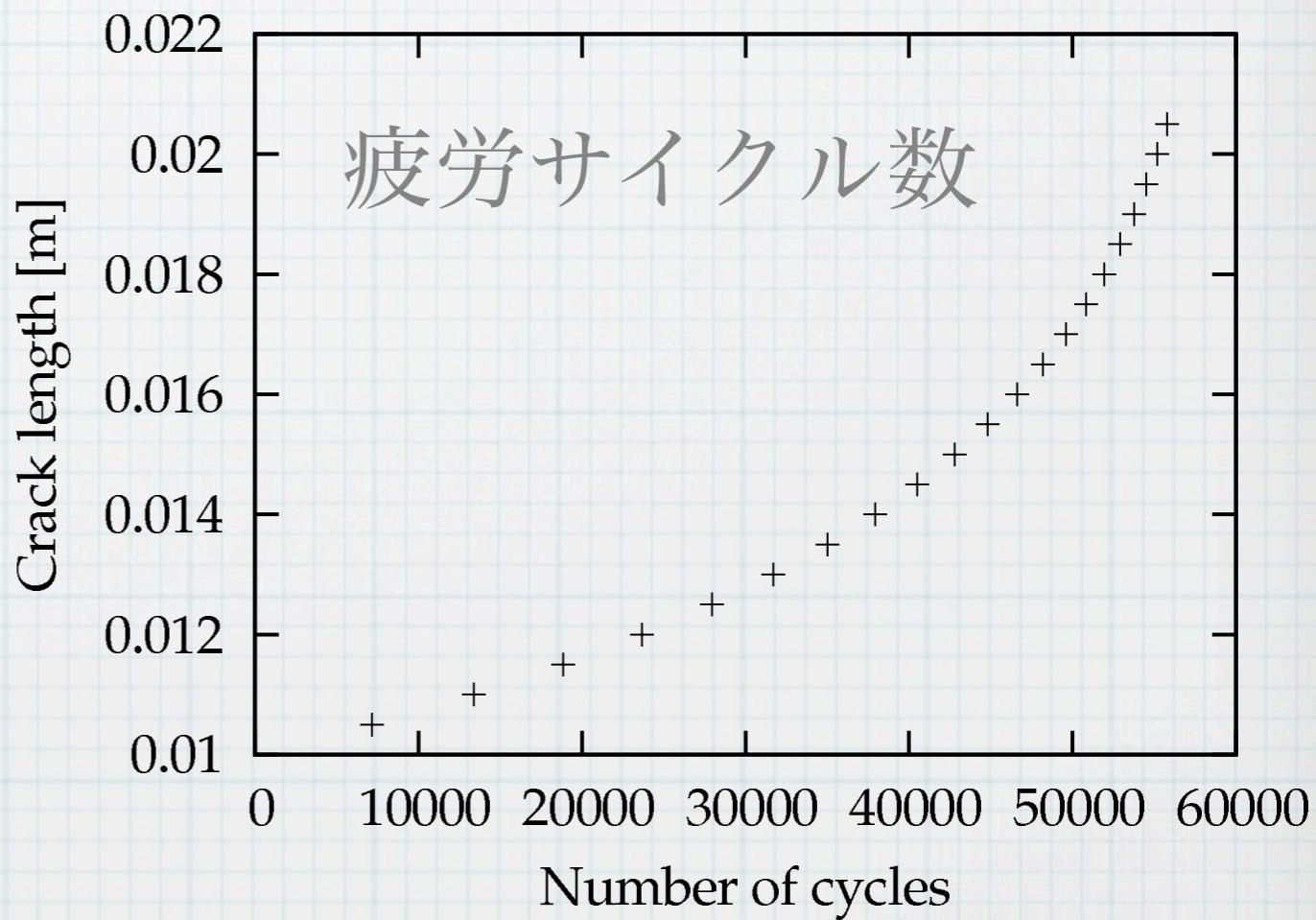
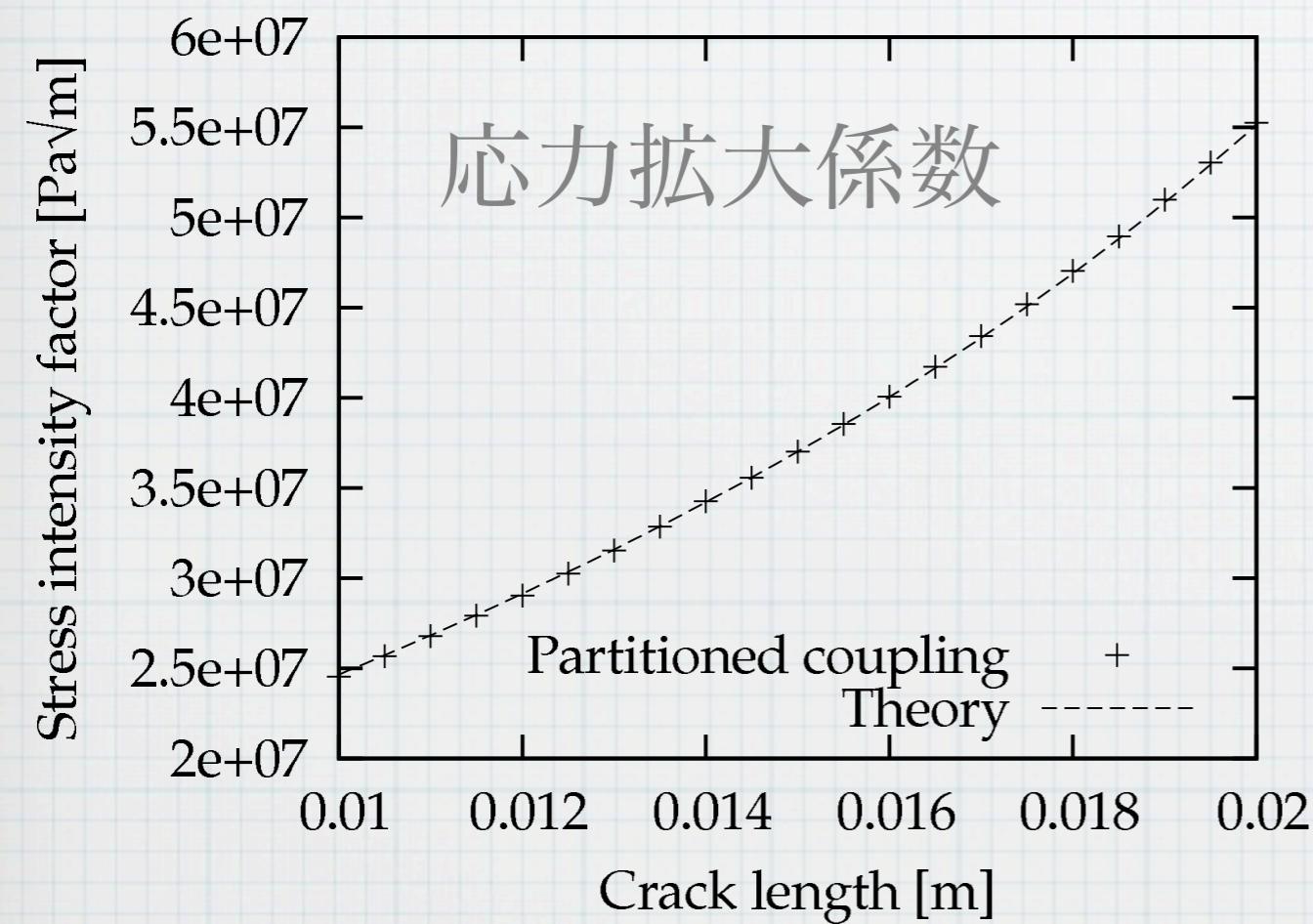


き裂付きモデルの静解析

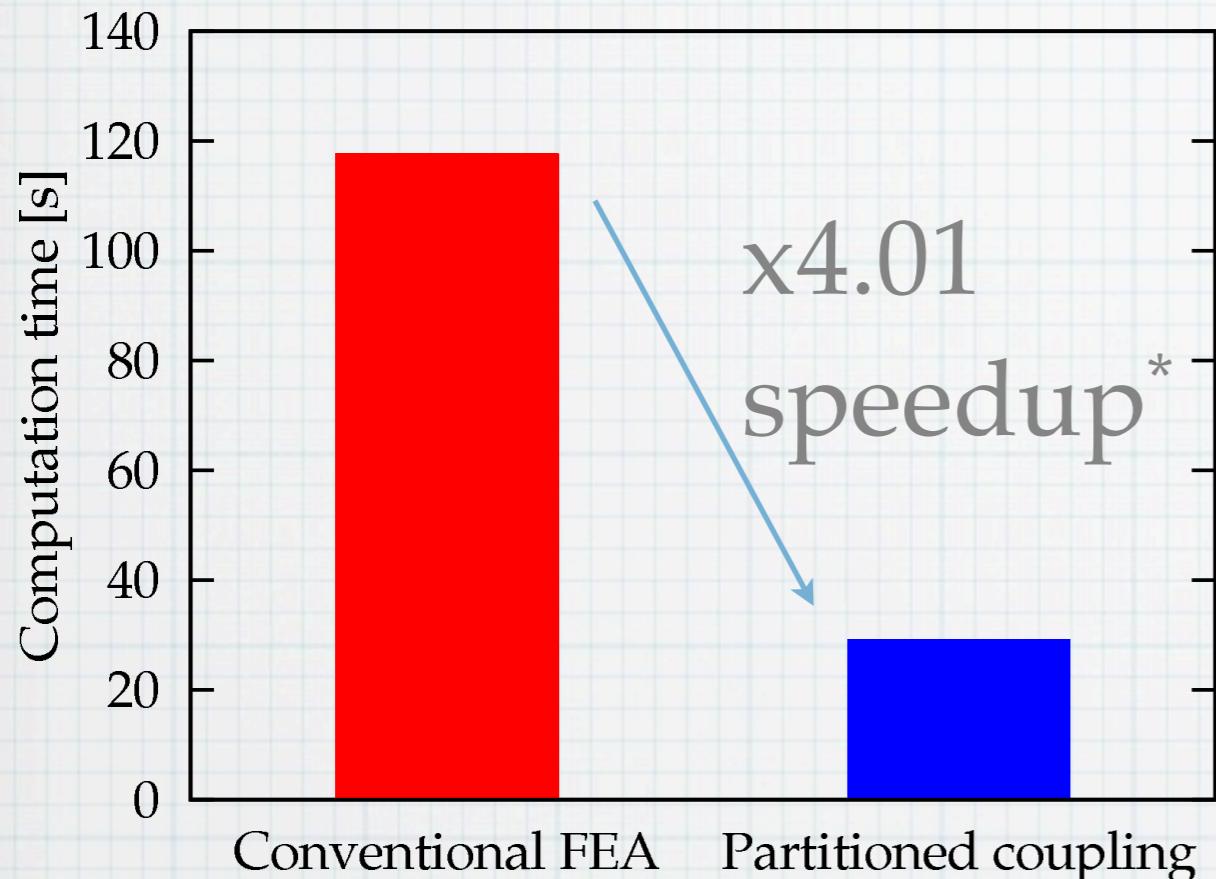


疲労き裂進展解析

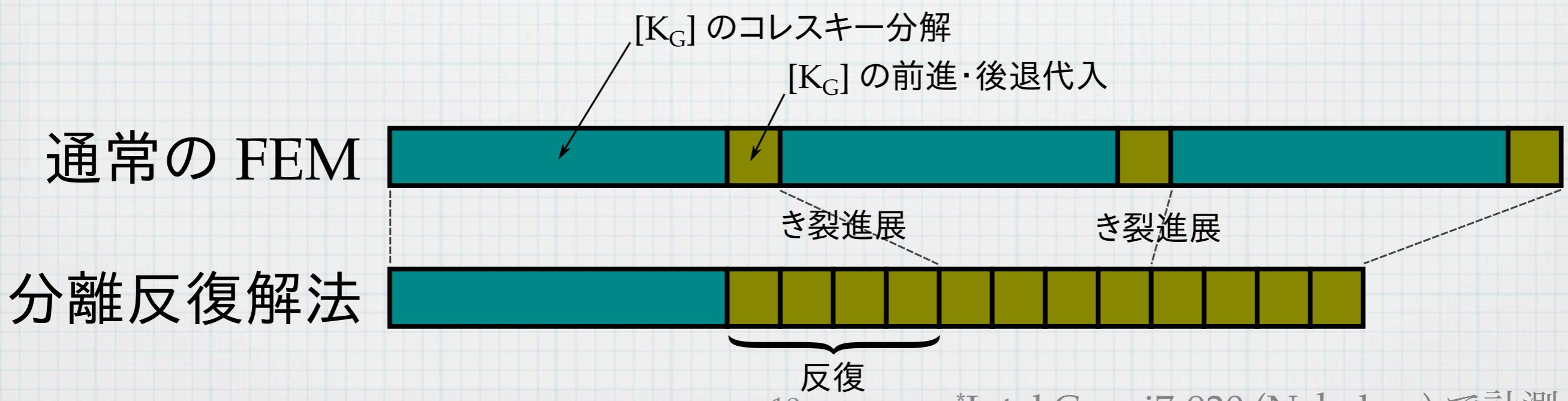
- * 直接変位外挿法で応力拡大係数 K_I を求めた。
- * 求めた K_I 値から Paris 則で疲労サイクル数 N を計算した。



疲労き裂進展解析の計算時間



* $[K_G]$ 一定を利用して、通常の FEM よりも高速な計算を可能とした。

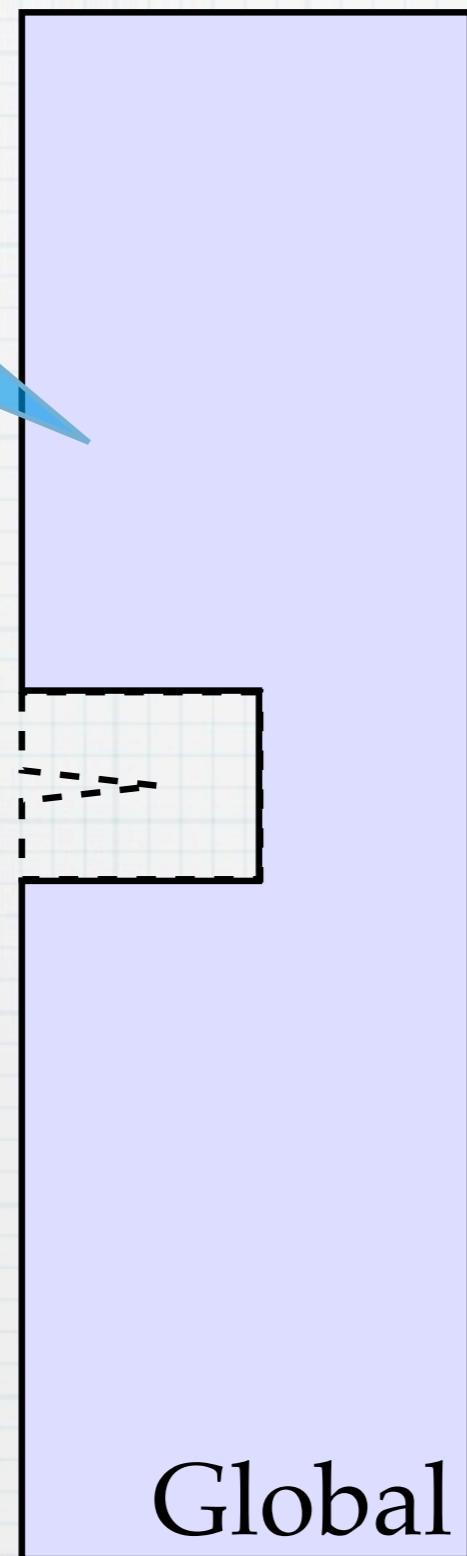


大規模化への課題

3D 大規模化
直接法ソルバー

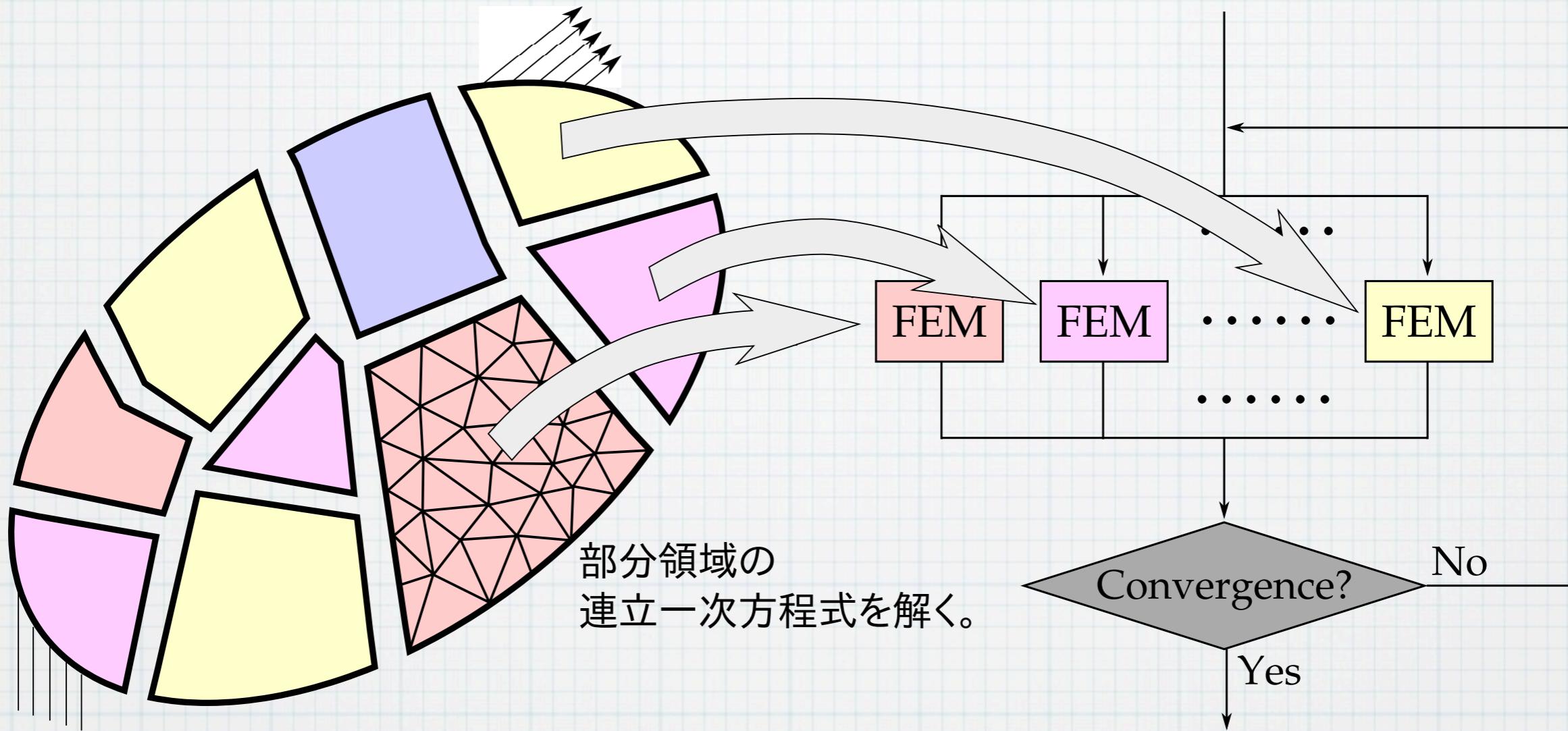
Local ←

小規模のまま
直接法ソルバー



- * これまでの話は、直接法ソルバーの使用を前提としている。
- * 大規模 ($>$ 数百万自由度) なグローバル領域を直接法ソルバーで解くのは難しい。

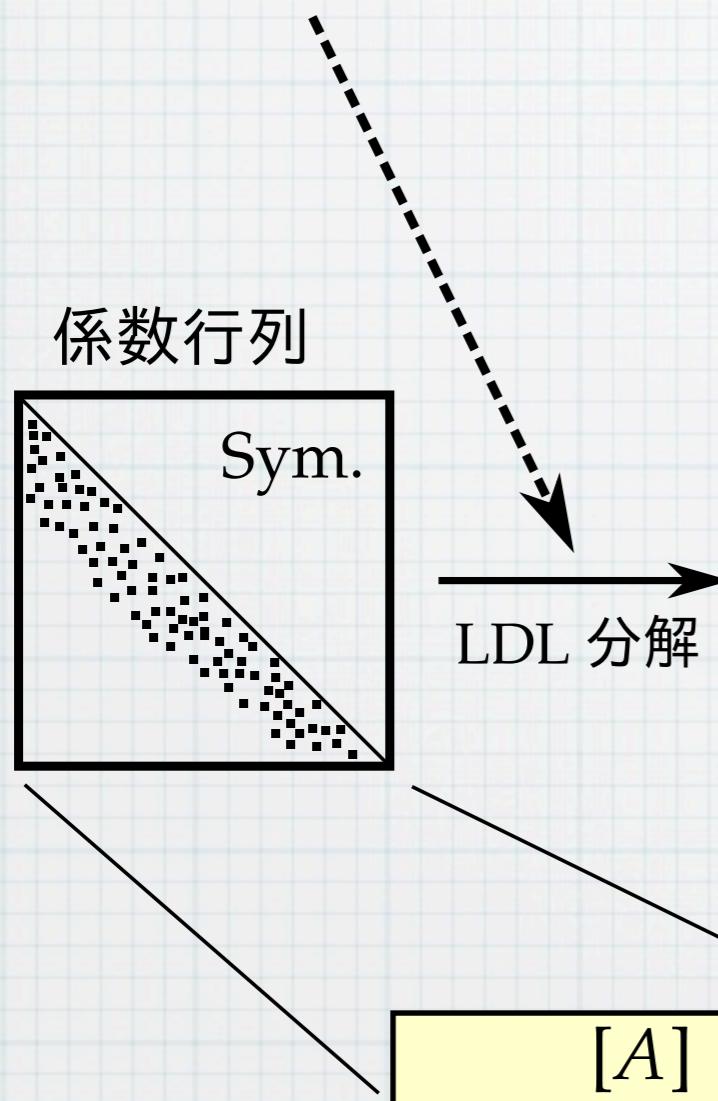
領域分割法による大規模線形解析



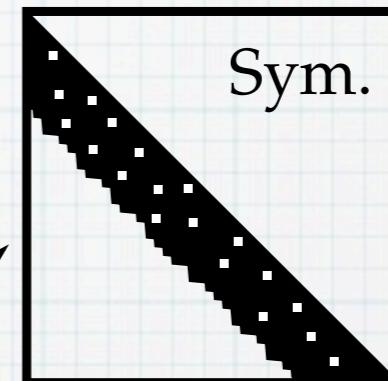
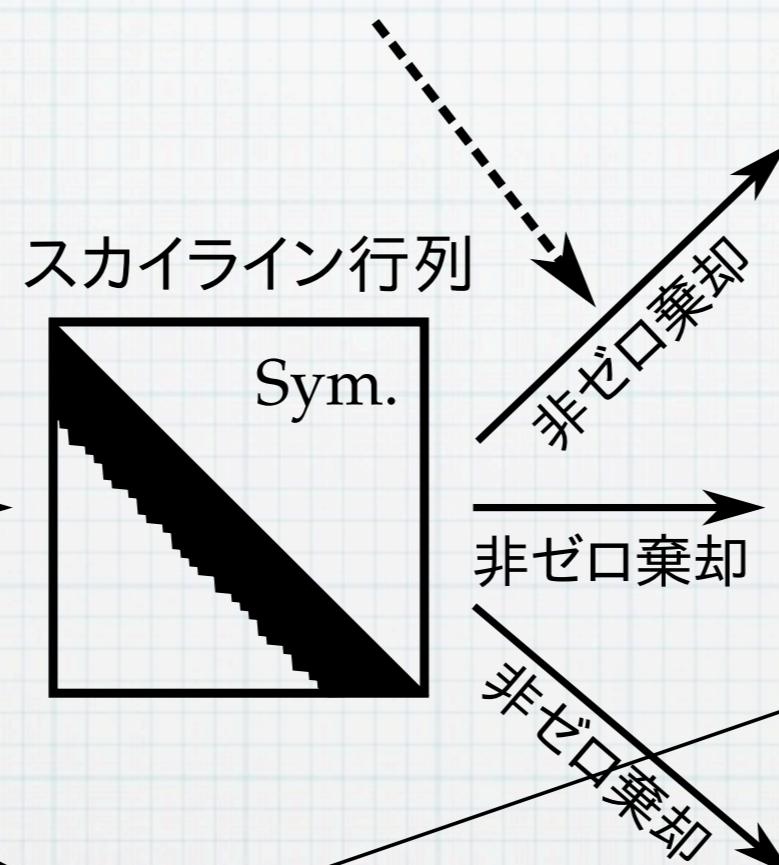
- * 部分領域の解析には直接法を用いるのが一般的だが、メモリ不足で解けないことがしばしばある。
- * 省メモリな反復法ベースの部分領域ソルバーが必要である。

ICT* 分解前処理付き CG 法部分領域ソルバー

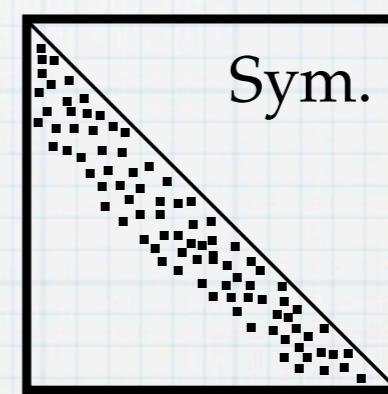
まず完全分解する。



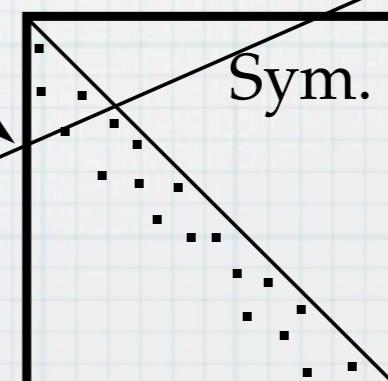
続いて閾値で
非ゼロを棄却する。



ほとんど
直接法



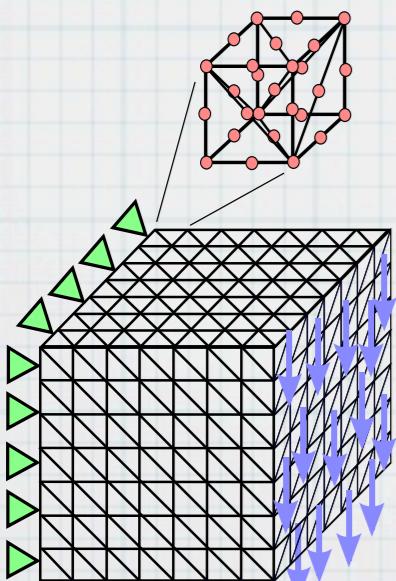
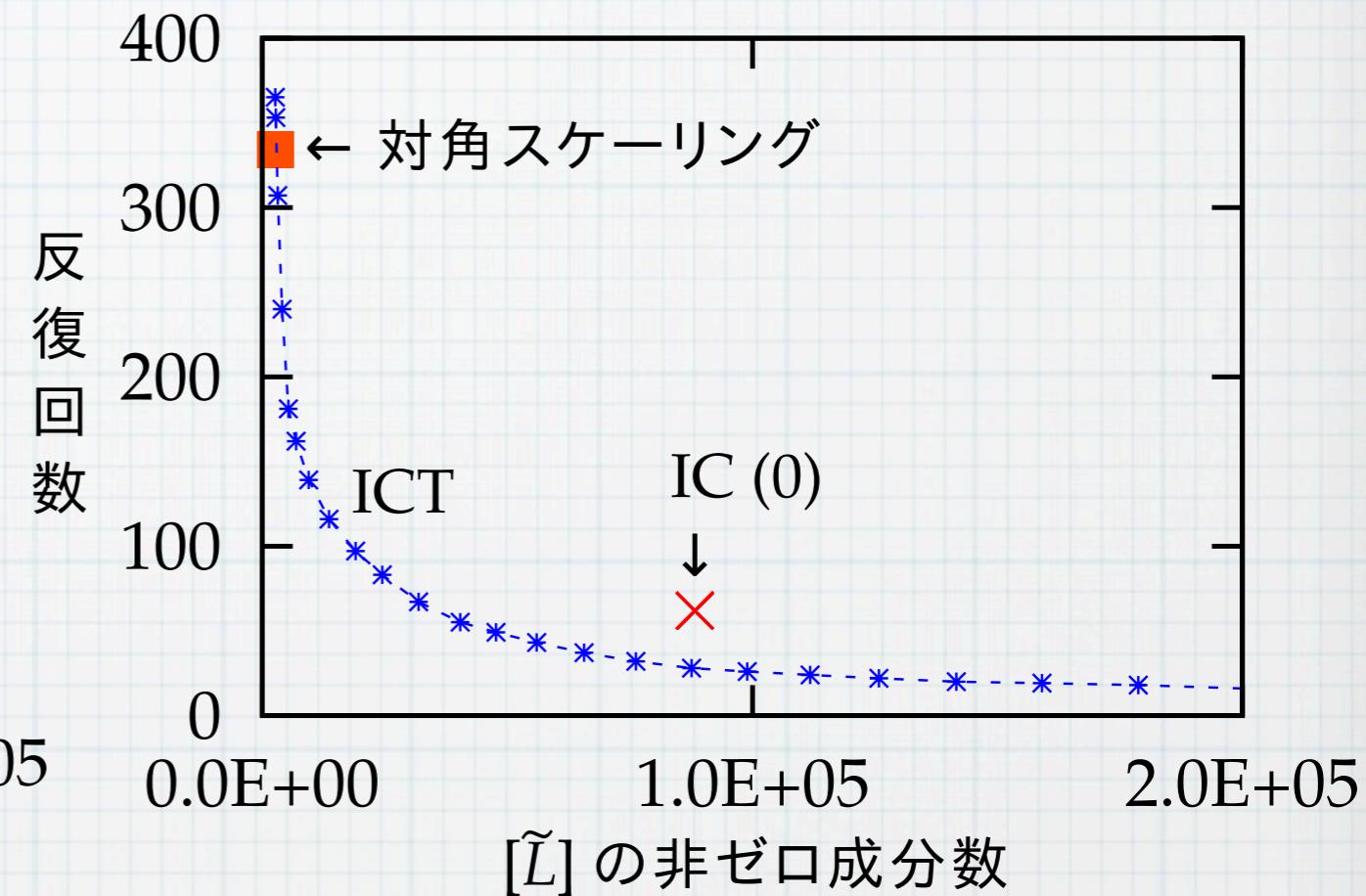
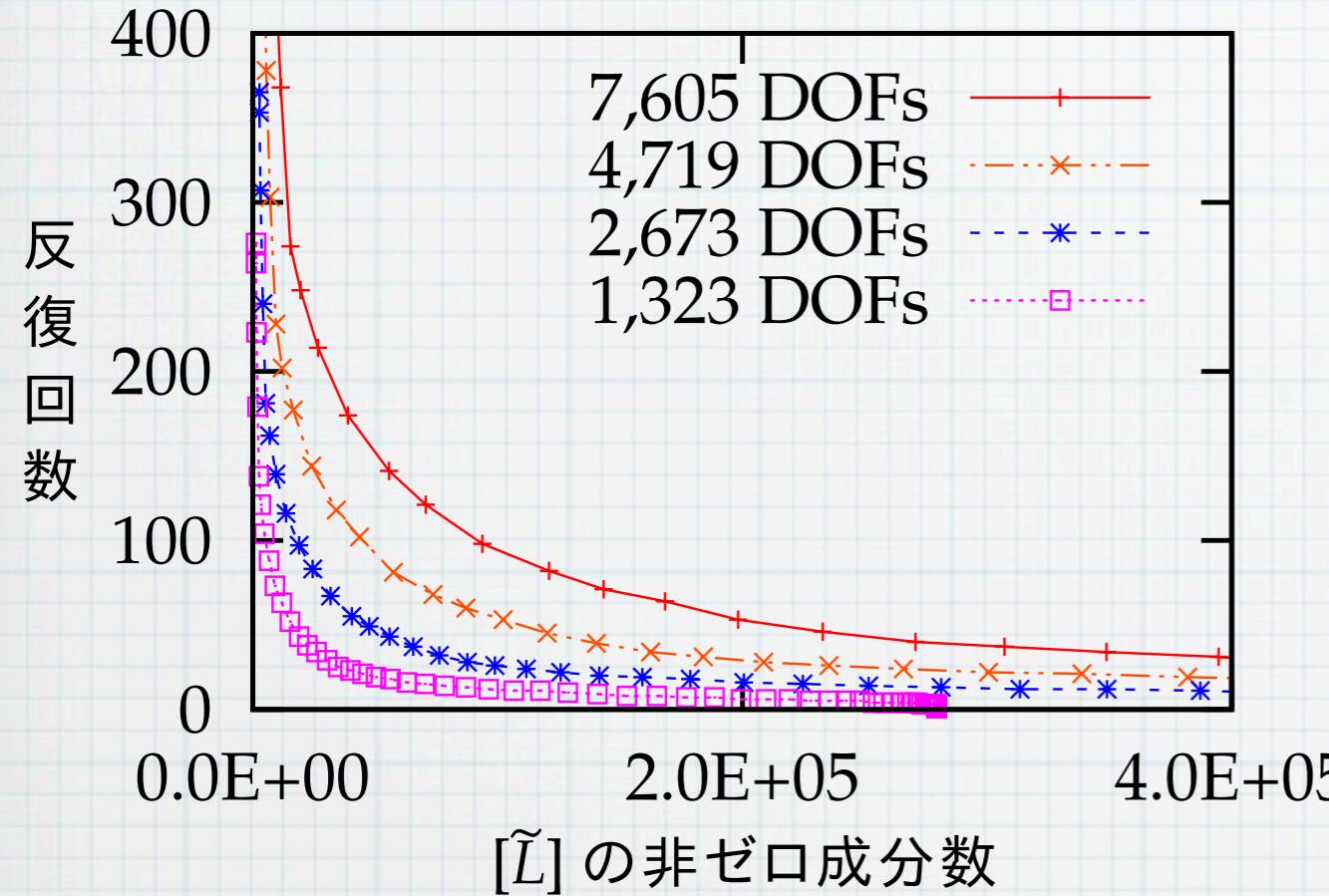
ほとんど
IC (0) 分解前処理



ほとんど
対角スケーリング

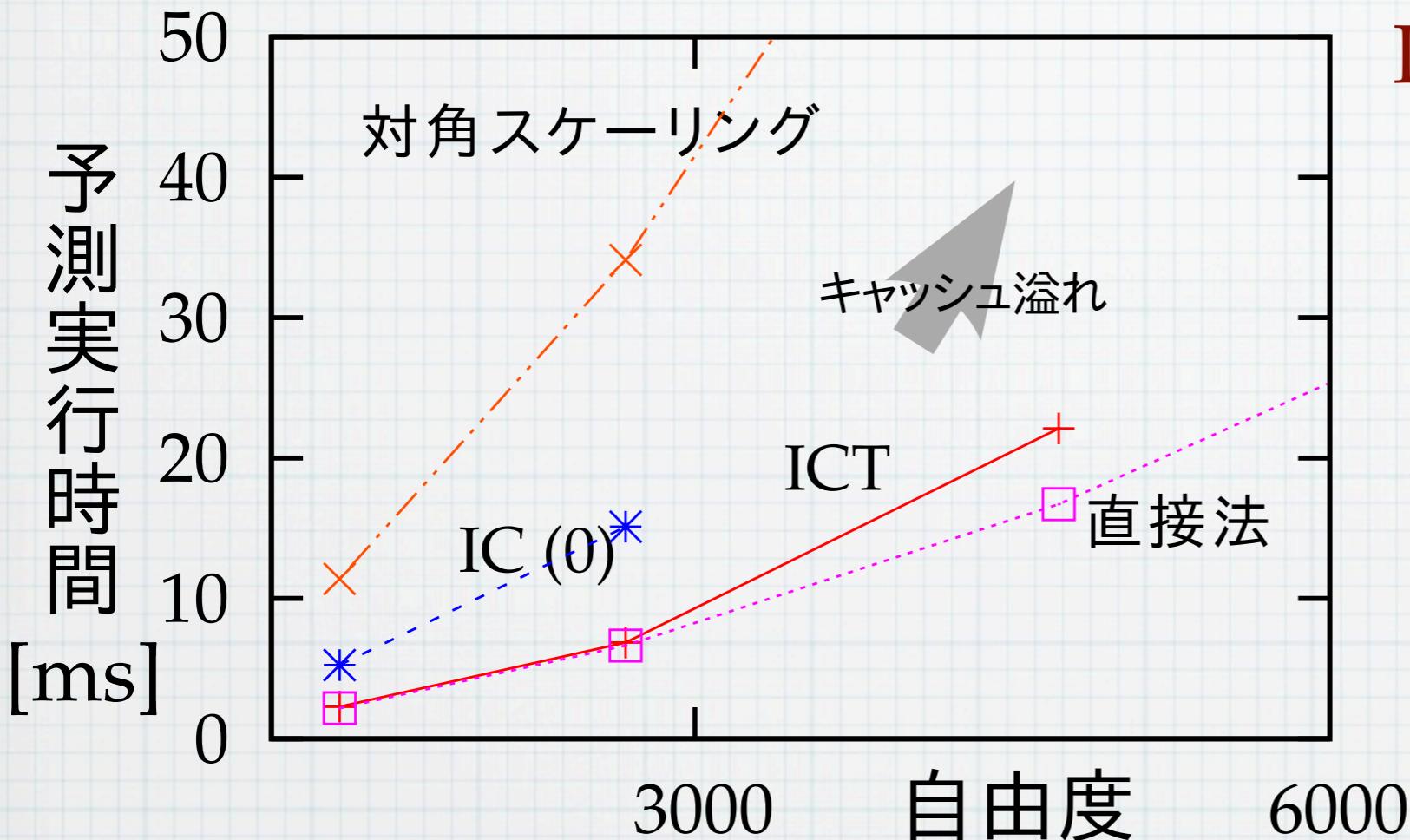
*Incomplete Cholesky with Threshold (Y. Saad, *Num. Lin. Alg. Appl.*, 1995.)

ICT 分解前処理付き CG 法の反復回数



- * 非ゼロ成分数に応じて反復回数を削減。
- * 対角スケーリング、IC (0) と比較しても優位。

ICT 分解前処理付き CG 法の実行時間予測



PCG 法

$$\left(\frac{\text{演算量}_{\text{SpMV}}}{\text{実効性能}_{\text{SpMV}}^*} + \frac{\text{演算量}_{\text{FBS}}}{\text{実効性能}_{\text{FBS}}^*} \right) \times \text{反復回数}$$

直接法

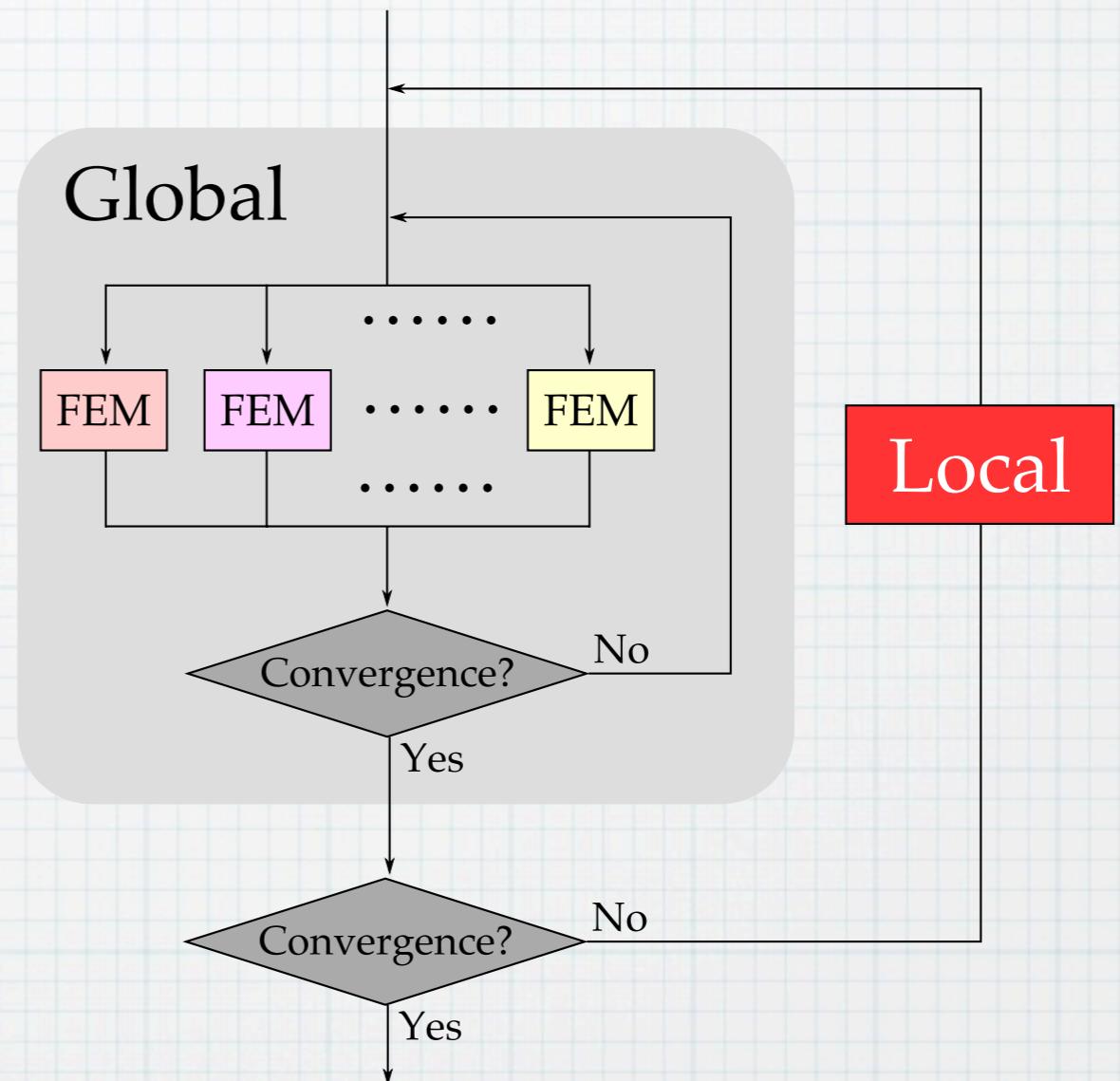
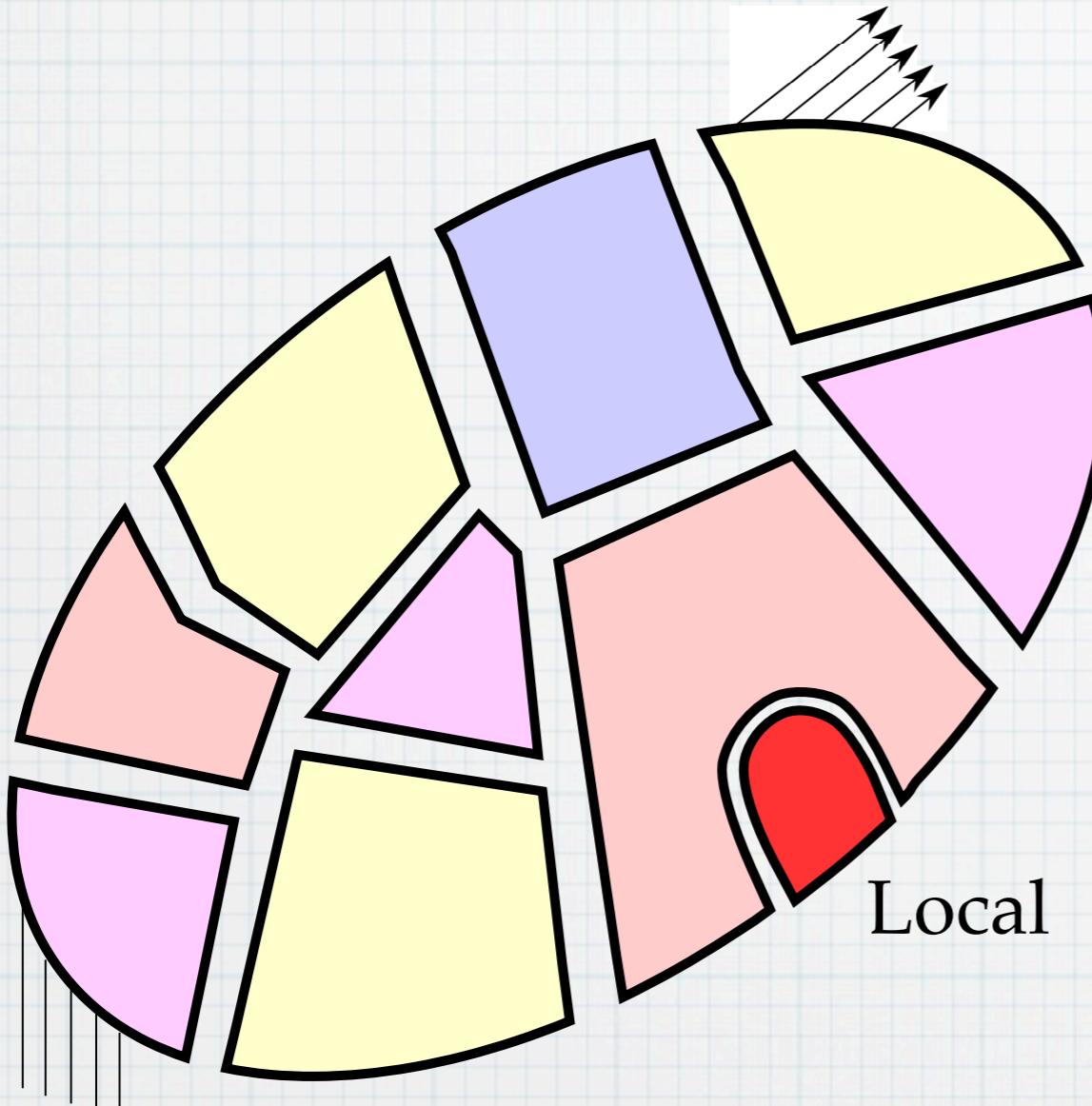
$$\frac{\text{メモリ読み込み量}}{\text{実効メモリバンド幅}^*}$$

* 対角スケーリング、IC (0) よりも速く、直接法にも匹敵する。

結論と今後の展望

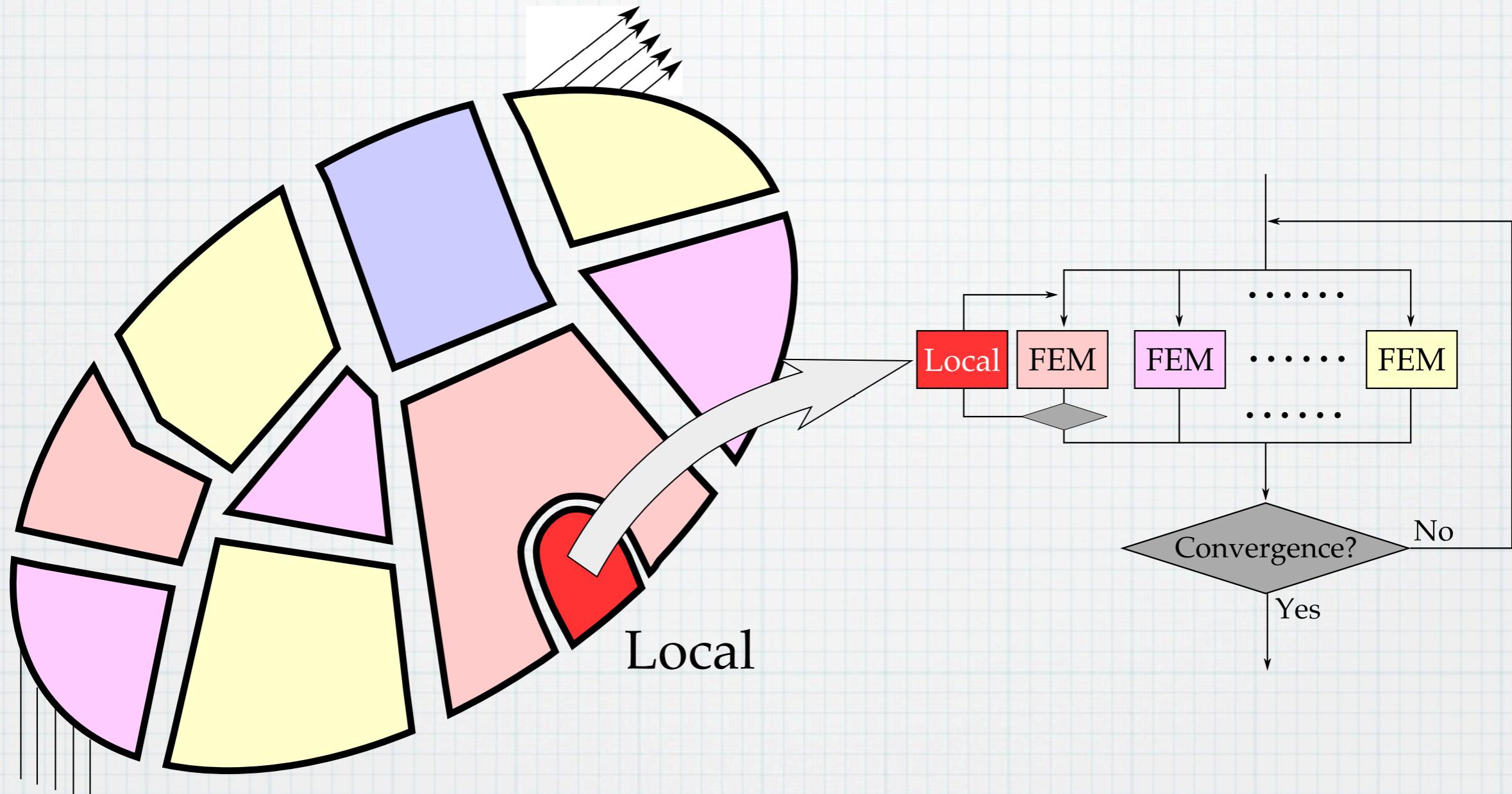
- * 非線形固体力学解析に分離反復連成解析が有効であることがわかつてきた。
- * 大規模化のためのソルバーが揃ってきた。
- * 新たに弾塑性解析を行う。そして、疲労き裂進展解析と弾塑性解析を三次元大規模化して、大規模非線形固体力学シミュレーションを行う予定である(修士研究)。

博士後期課程の研究構想



* 修士研究の手法は二重のループ構造になっている。

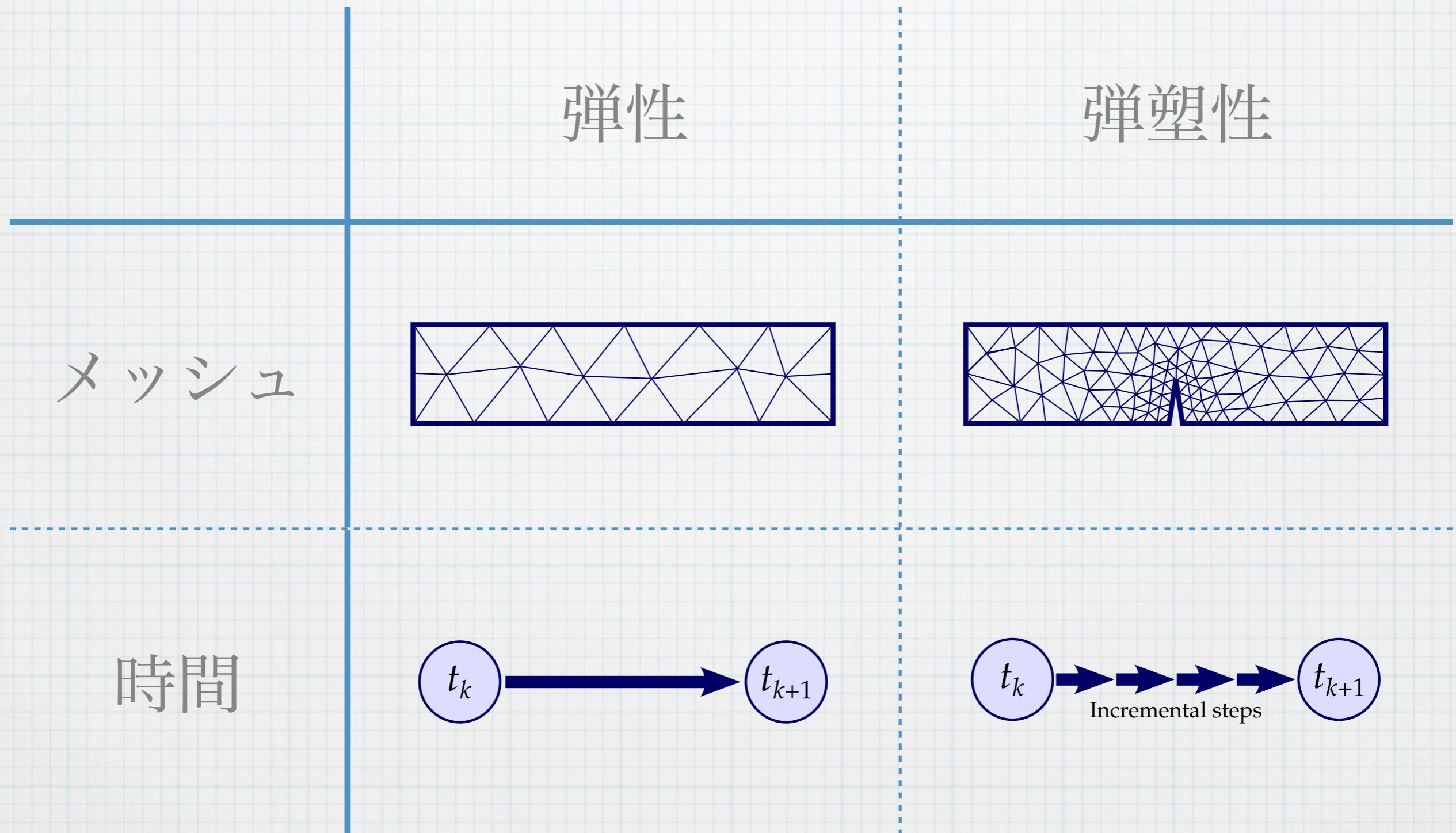
博士後期課程の研究構想



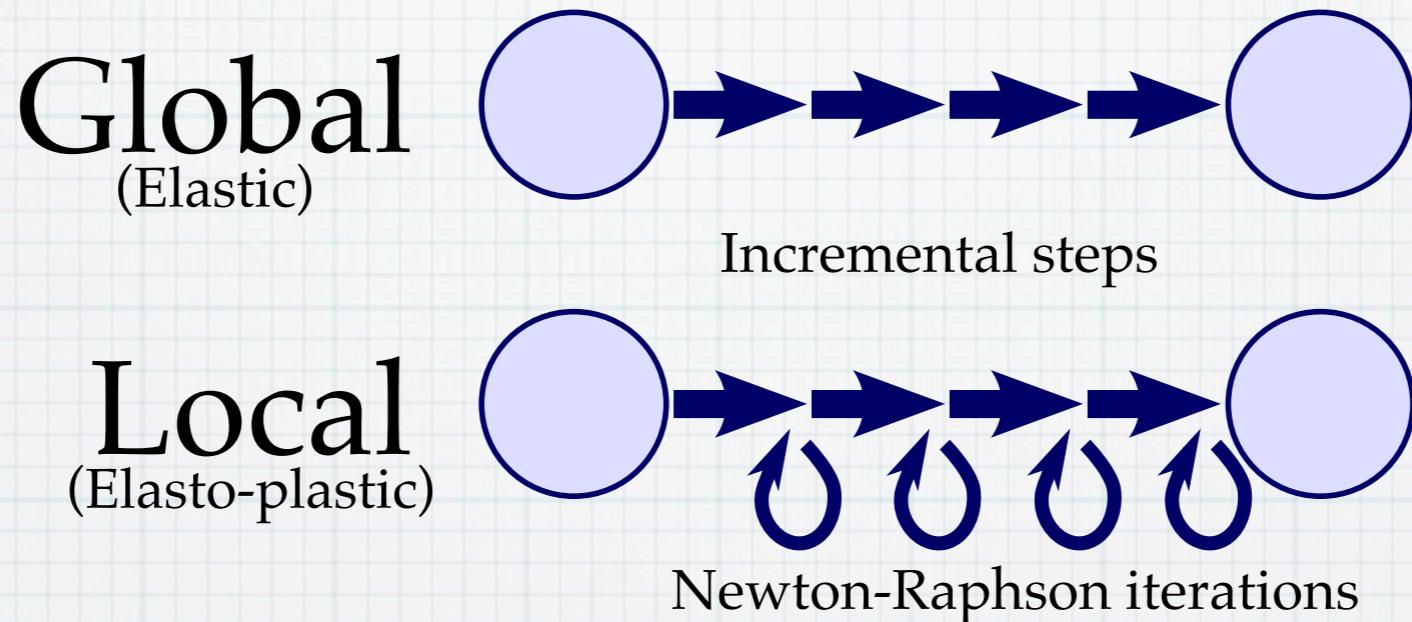
* 非線形 CG 法と呼ばれる分野の研究を行う

予定である(博士研究)。

弾塑性解析は多くの計算資源を消費する



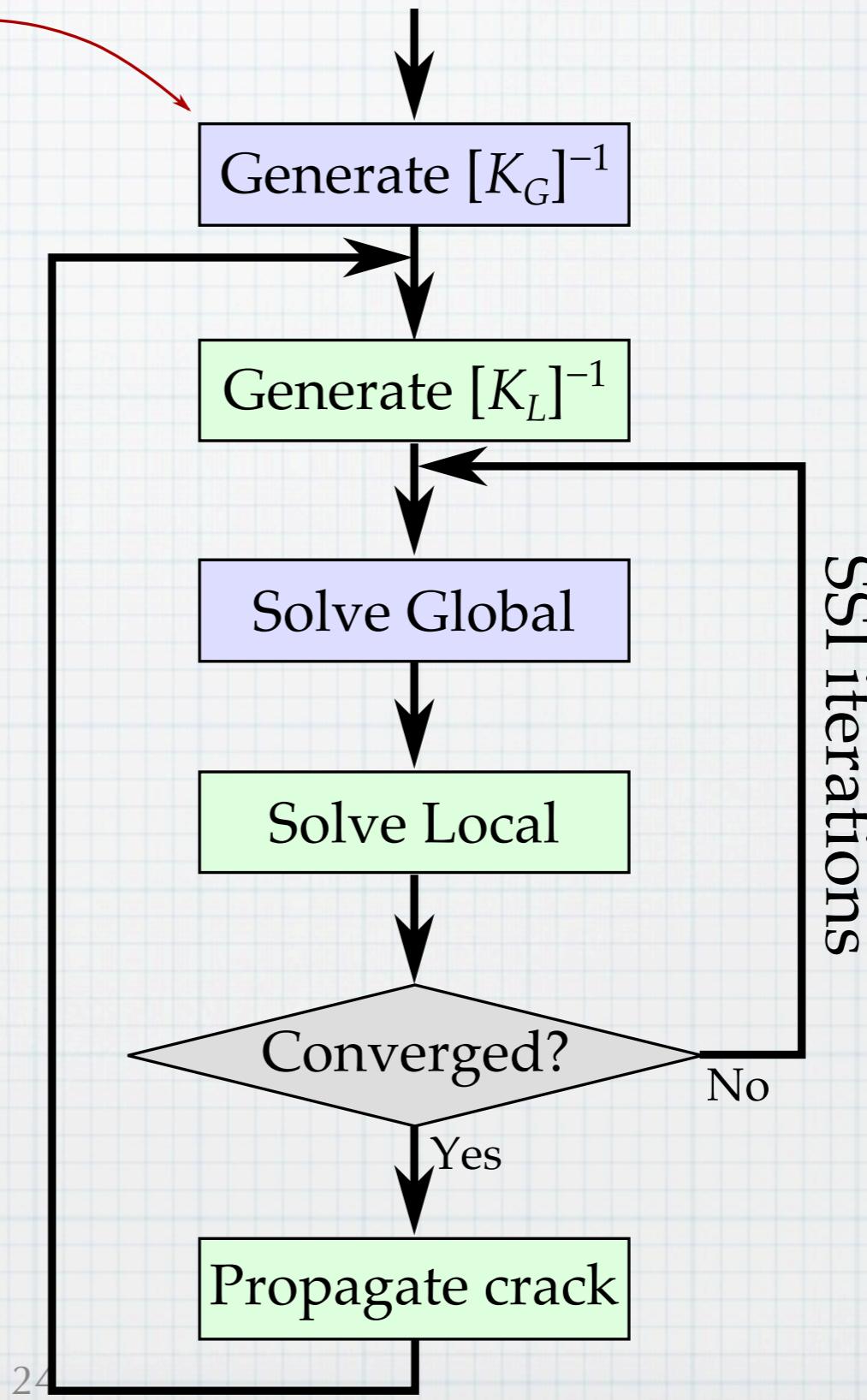
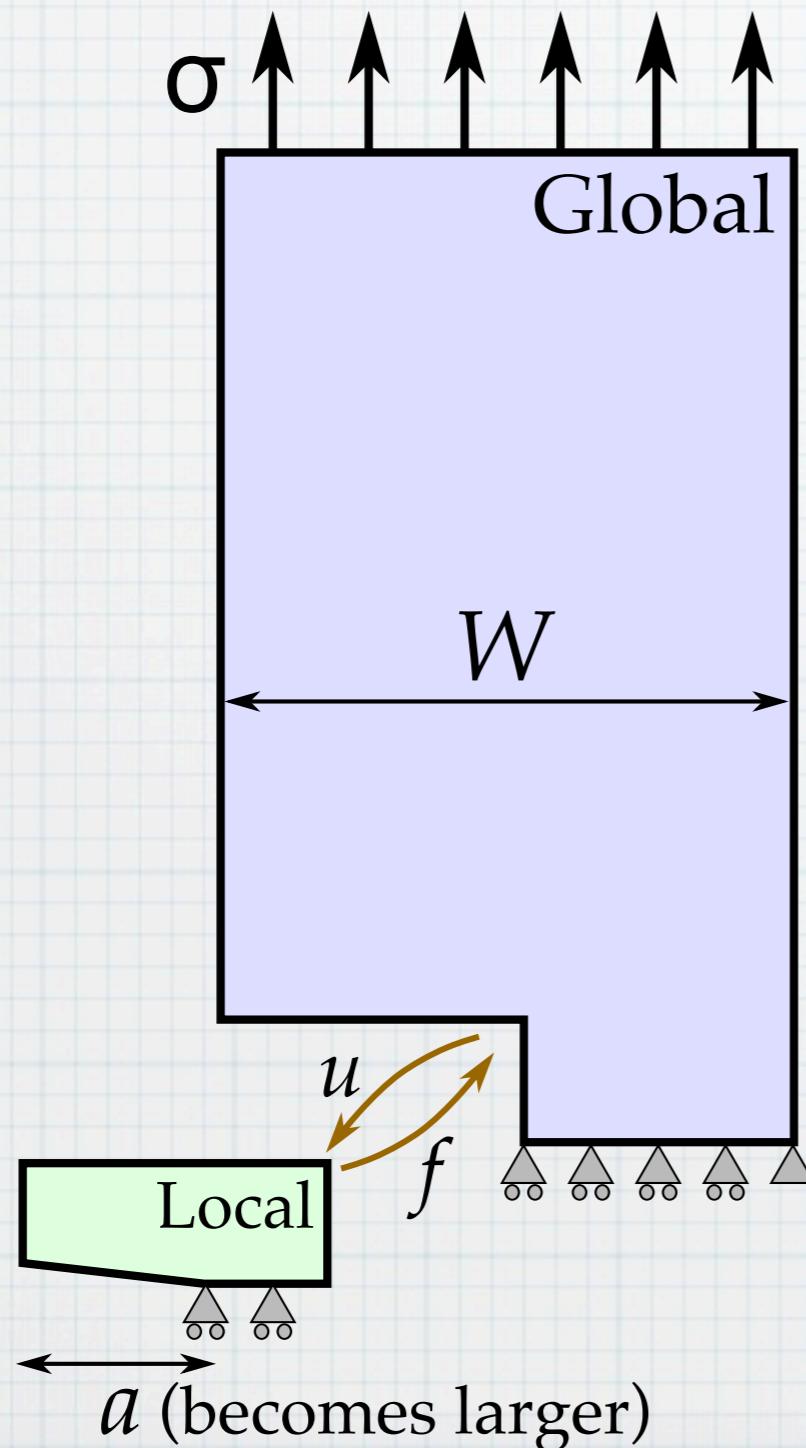
分離反復法による弾塑性解析



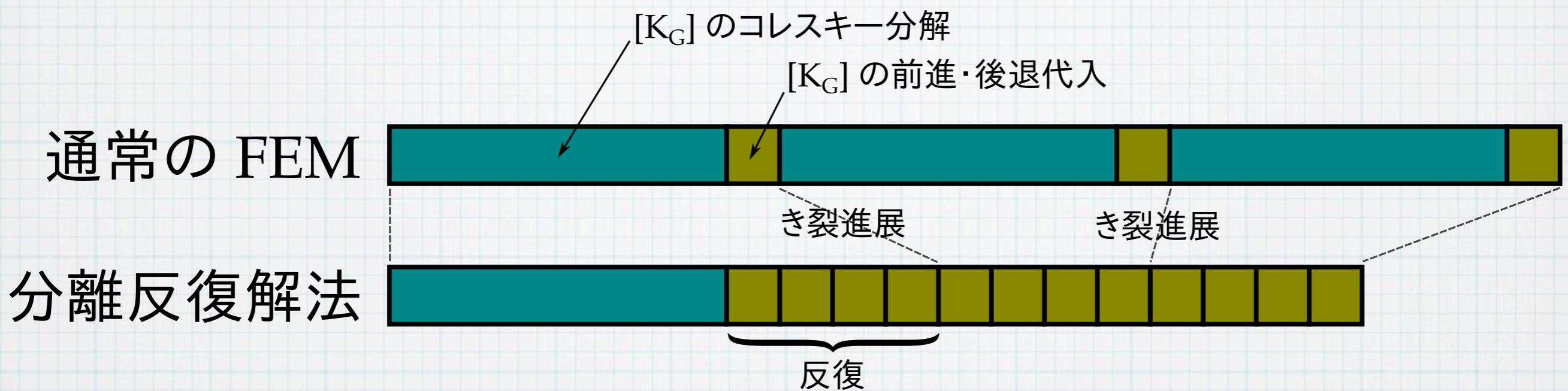
- * Newton-Raphson 反復をローカル領域に限定する。

分離反復法による疲労き裂進展解析

Large computation time



疲労き裂進展解析の計算時間予測



通常の FEM

$$N(t_f + t_s)$$

分離反復解法

$$t_f + NSt_s$$

スピードアップ

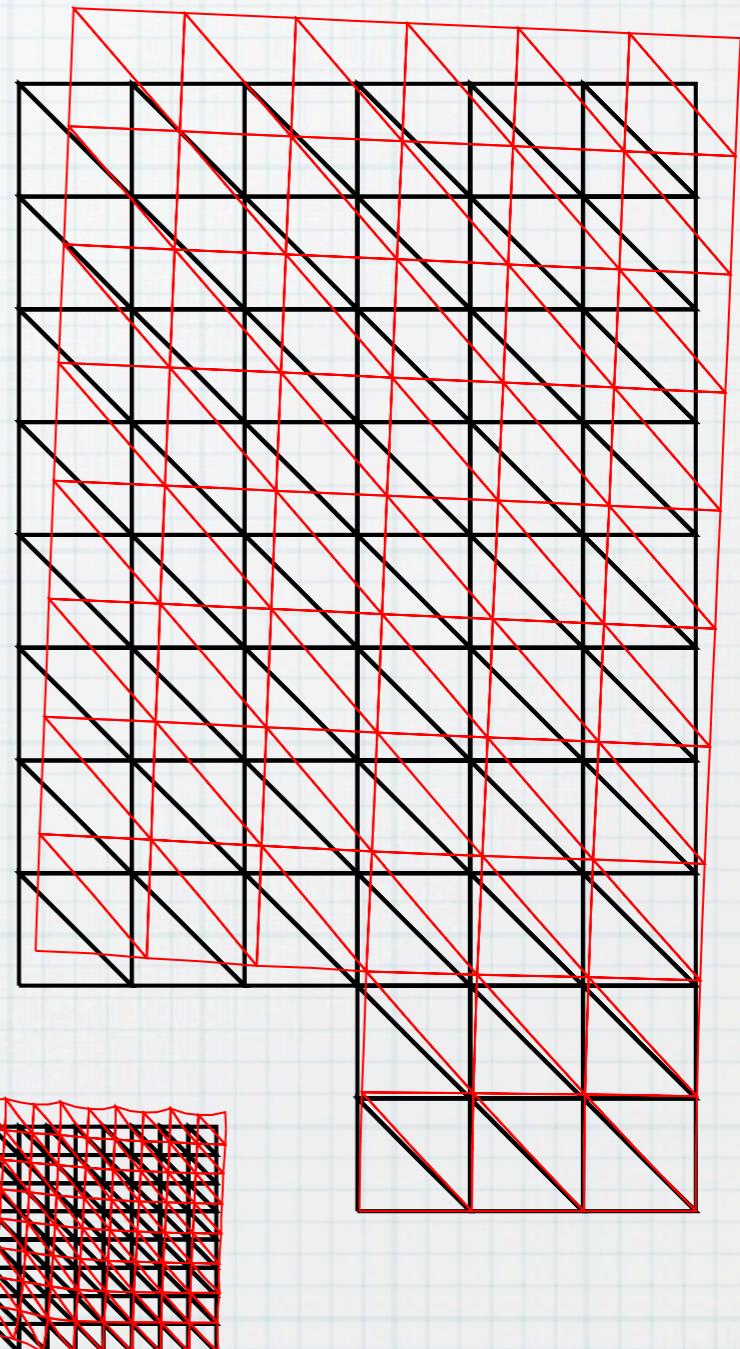
$$\sim t_f / St_s$$

t_f : [K_G] のコレスキー分解の時間; t_s : [K_G] の前進後退代入の時間

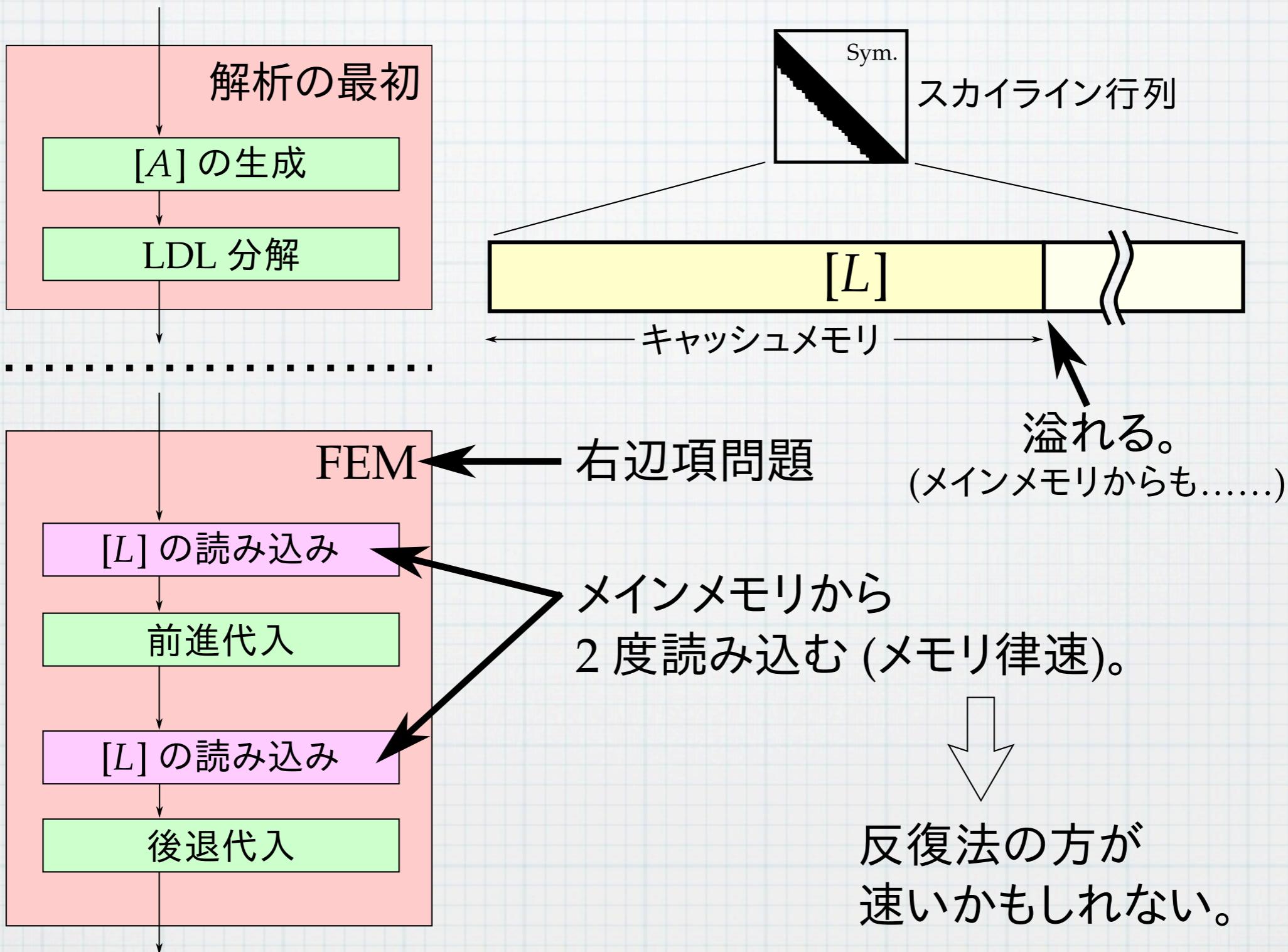
N : き裂進展のステップ数; S : 分離反復解法の反復回数

Non-matching なメッシュ

- * ズーミング法や重合メッシュ法では、グローバル・ローカル境界が一致しないのが一般的。
- * 分離反復解法の場合は、 u と f の補間が必要。



直接法 (LDL 分解法)



反復法 (PCG 法)

