三次元弾性解析コード（2/3）
マトリクス生成

2012年夏学期

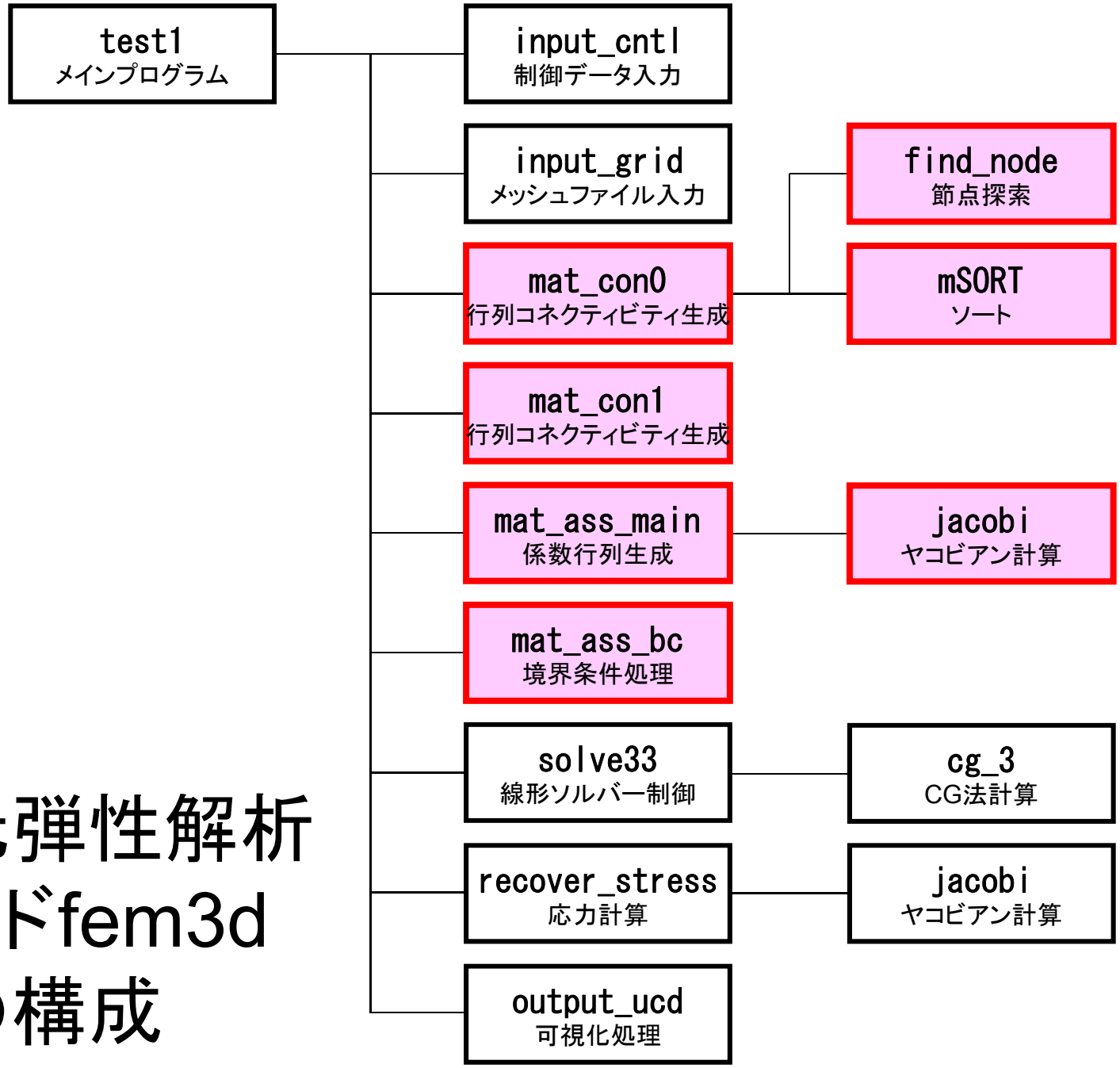
中島 研吾

科学技術計算Ｉ（4820-1027）・コンピュータ科学特別講義Ｉ（4810-1204）

有限要素法の処理：プログラム

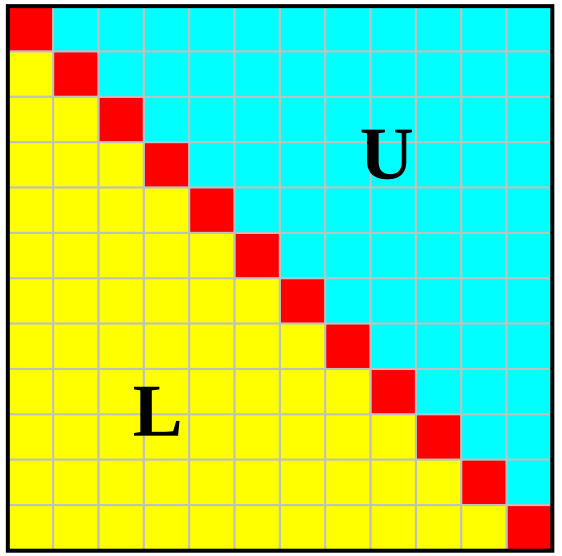
- 初期化
  - 制御変数読み込み
  - 座標読み込み⇒要素生成（N:節点数，ICELTOT：要素数）
  - 配列初期化（全体マトリクス，要素マトリクス）
  - 要素⇒全体マトリクスマッピング（Index，Item）
- マトリクス生成
  - 要素単位の処理（do icel= 1, ICELTOT）
    - 要素マトリクス計算
    - 全体マトリクスへの重ね合わせ
  - 境界条件の処理
- 連立一次方程式
  - 共役勾配法（CG）
- 応力計算

三次元弾性解析コードfem3dの構成



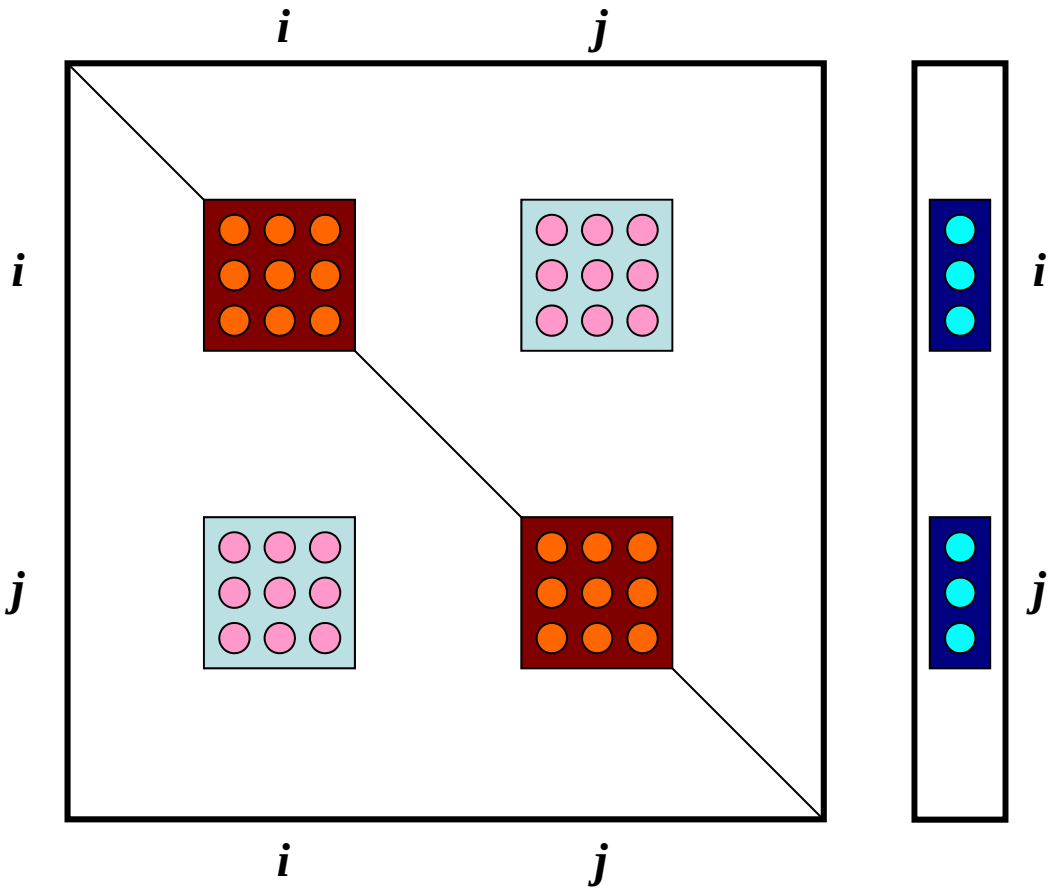
fem3d：いくつかの特徴

- 非対角成分
  - 上三角，下三角を分けて記憶
    - indexL，itemL，AL
    - indexU，itemU，AU
- ブロックとして記憶
  - ベクトル：1節点3成分
  - 行列：各ブロック9成分
  - 行列の各成分ではなく，節点上の3変数に基づくブロックとして処理する



ブロックとして記憶（1/3）

- 記憶容量が減る
  - index, itemに関する記憶容量を削減できる



ブロックとして記憶（2/3）

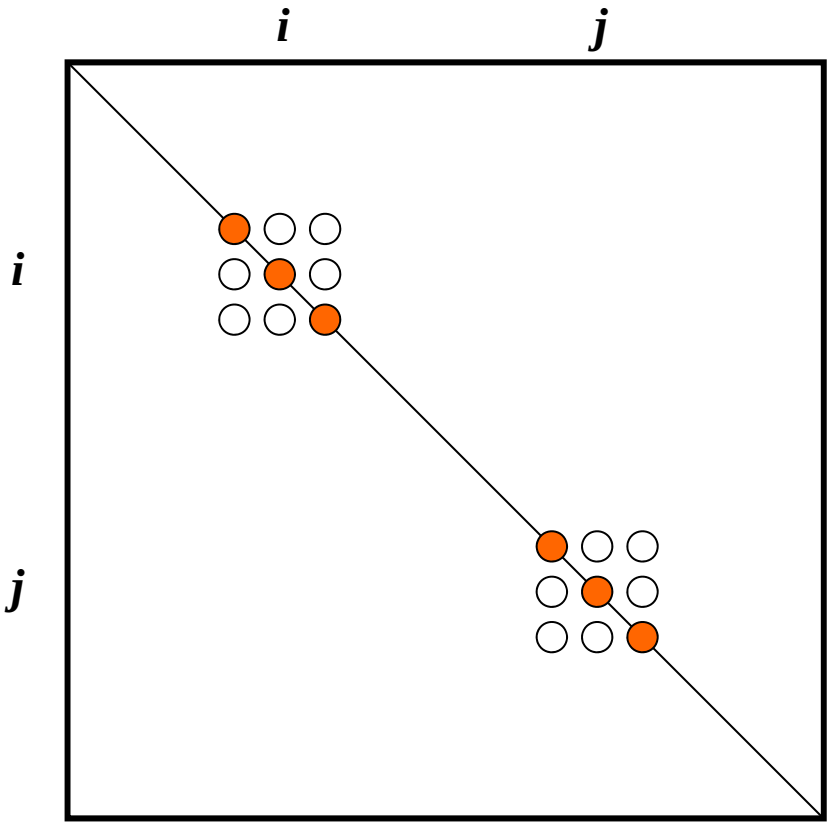
- 計算効率
  - 間接参照（メモリに負担）と計算の比が大きくなる
  - ベクトル，スカラー共に効く：2倍以上の性能
    - 連続領域，キャッシュに載る，ループあたりの計算量増加

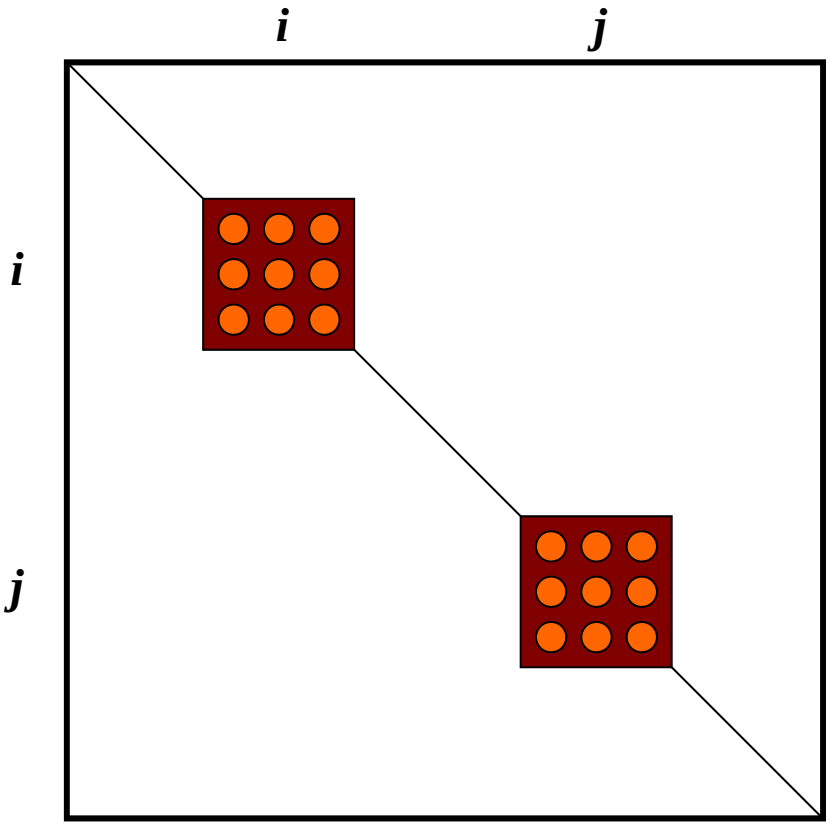
```
do i= 1, 3*N
  Y(i)= D(i)*X(i)
  do k= index(i-1)+1, index(i)
    kk= item(k)
    Y(i)= Y(i) + AMAT(k)*X(kk)
  enddo
enddo
```

```
do i= 1, N
  X1= X(3*i-2)
  X2= X(3*i-1)
  X3= X(3*i)
  Y(3*i-2)= D(9*i-8)*X1+D(9*i-7)*X2+D(9*i-6)*X3
  Y(3*i-1)= D(9*i-5)*X1+D(9*i-4)*X2+D(9*i-3)*X3
  Y(3*I  )= D(9*i-2)*X1+D(9*i-1)*X2+D(9*I  )*X3
  do k= index(i-1)+1, index(i)
    kk= item(k)
    X1= X(3*kk-2)
    X2= X(3*kk-1)
    X3= X(3*kk)
    Y(3*i-2)= Y(3*i-2)+AMAT(9*k-8)*X1+AMAT(9*k-7)*X2 &
                                     +AMAT(9*k-6)*X3
    Y(3*i-1)= Y(3*i-1)+AMAT(9*k-5)*X1+AMAT(9*k-4)*X2 &
                                     +AMAT(9*k-3)*X3
    Y(3*I  )= Y(3*I  )+AMAT(9*k-2)*X1+AMAT(9*k-1)*X2 &
                                     +AMAT(9*k  )*X3
  enddo
enddo
```

ブロックとして記憶（3/3）

- 計算の安定化
  - 対角成分で割るのではなく，対角ブロックの完全LU分解を求めて解く
  - 特に悪条件問題で有効





Global変数表：pfem_util.h/f（1/3）

変数名	種別	サイズ	I/O	内　容
fname	C	[80]	I	メッシュファイル名
N,NP	I		I	節点数
ICELTOT	I		I	要素数
NODGRPtot	I		I	節点グループ数
XYZ	R	[N][3]	I	節点座標
ICELNOD	I	[ICELTOT][8]	I	要素コネクティビティ
NODGRP_INDEX	I	[NODGRPtot+1]	I	各節点グループに含まれる節点数（累積）
NODGRP_ITEM	I	[NODGRP_INDEX[NODGRPTOT+1]]	I	節点グループに含まれる節点
NODGRP_NAME	C80	[NODGRP_INDEX[NODGRPTOT+1]]	I	節点グループ名
NL, NU	I		O	各節点非対角成分数（上三角・下三角）
NPL, NPU	I		O	非対角成分総数（上三角・下三角）
D	R	[9*N]	O	全体行列：対角ブロック
B,X	R	[3*N]	O	右辺ベクトル，未知数ベクトル

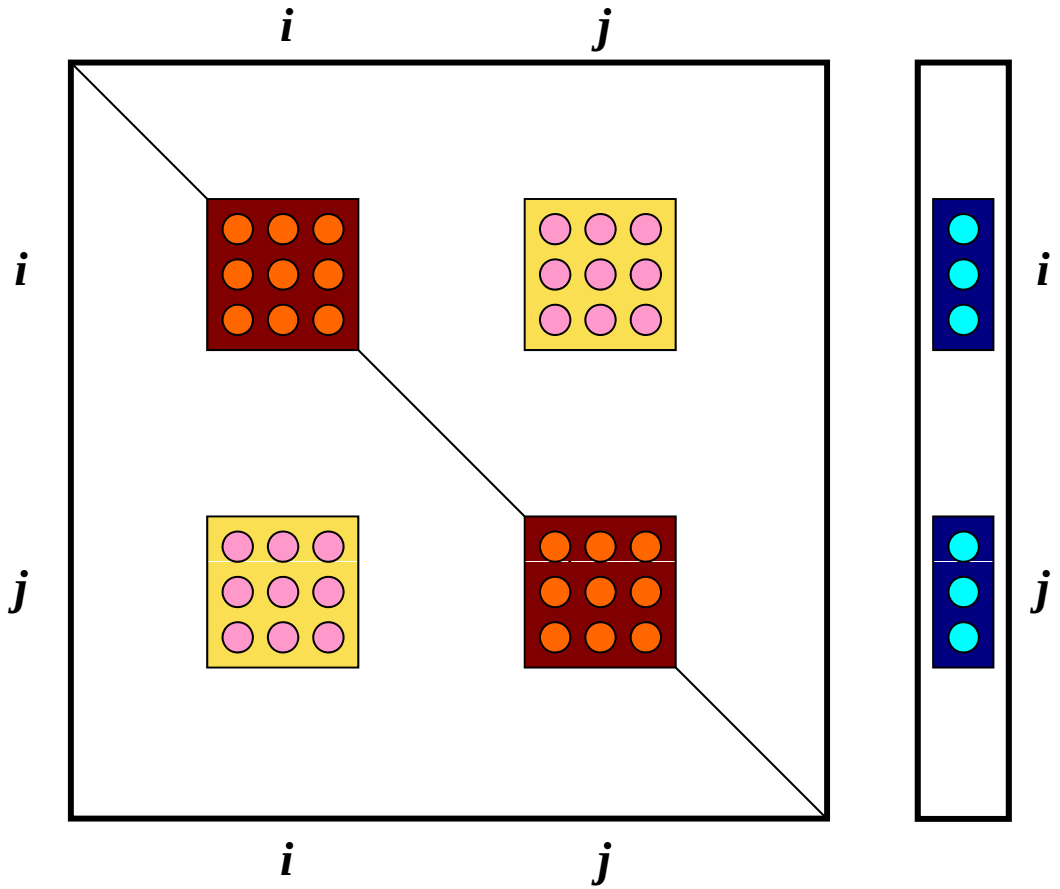
Global変数表：pfem_util.h/f（2/3）

変数名	種別	サイズ	I/O	内　容
ALUG	R	[9*N]	O	全体行列：対角ブロックの完全LU分解
AL, AU	R	[9*NPL], [9*NPU]	O	全体行列：上・下三角ブロック成分
indexL, indexU	I	[N+1]	O	全体行列：非零非対角ブロック数
itemL, itemU	I	[NPL], [NPU]	O	全体行列：上・下三角ブロック（列番号）
INL, INU	I	[N]	O	各節点の上・下三角ブロック数
IAL, IAU	I	[N][NL], [N][NU]	O	各節点の上・下三角ブロック（列番号）
IWKX	I	[N][2]	O	ワーク用配列
METHOD	I		I	反復解法（=1に固定）
PRECOND	I		I	前処理手法（=0：ブロックSSOR, =1：ブロック対角スケーリング）
ITER, ITERactual	I		I	反復回数の上限，実際の反復回数
RESID	R		I	打ち切り誤差（1.e-8に設定）
SIGMA_DIAG	R		I	LU分解時の対角成分係数（=1.0に設定）
pfemIarray	I	[100]	O	諸定数（整数）
pfemRarray	R	[100]	O	諸定数（実数）

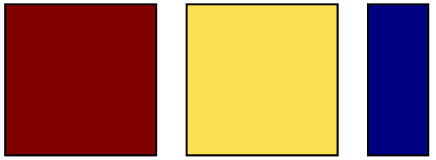
Global変数表：pfem_util.h/f（3/3）

変数名	種別	サイズ	I/O	内　容
08th	R		I	=0.125
PNQ, PNE, PNT	R	[2][2][8]	O	各ガウス積分点における $\frac{\partial N_i}{\partial \xi}, \frac{\partial N_i}{\partial \eta}, \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} (i=1\sim 8)$
POS, WEI	R	[2]	O	各ガウス積分点の座標，重み係数
NCOL1, NCOL2	I	[100]	O	ソート用ワーク配列
SHAPE	R	[2][2][2][8]	O	各ガウス積分点における形状関数 N_i (i=1~8)
PNX, PNY, PNZ	R	[2][2][2][8]	O	各ガウス積分点における $\frac{\partial N_i}{\partial x}, \frac{\partial N_i}{\partial y}, \frac{\partial N_i}{\partial z} (i=1\sim 8)$
DETJ	R	[2][2][2]	O	各ガウス積分点におけるヤコビアン行列式
ELAST, POISSON	R		I	ヤング率，ポアソン比
SIGMA_N, TAU_N	R	[N][3]	O	節点における垂直，せん断応力成分

用語の定義



ブロック（節点）:



成分（自由度）:

マトリクス生成まで

- 一次元のときは，index，itemに関連した情報を簡単に作ることができた
  - 非ゼロ非対角成分の数は2
  - 番号が自分に対して：+1と-1

- 三次元の場合はもっと複雑
  - 非ゼロ非対角ブロックの数は7～26（現在の形状）
  - 実際はもっと複雑
  - 前以て，非ゼロ非対角ブロックの数はわからない

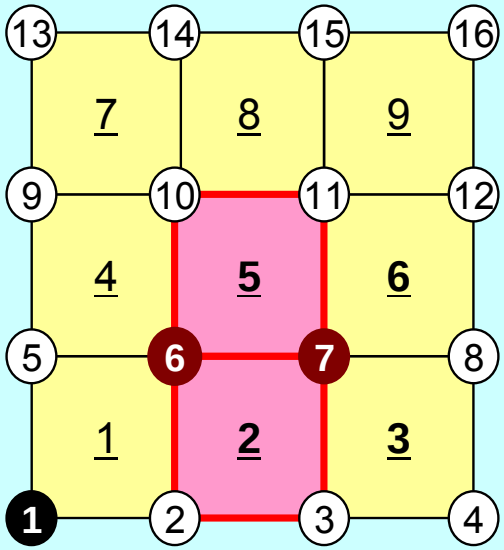
movie

マトリクス生成まで

- 一次元のときは，index，itemに関連した情報を簡単に作ることができた
  - 非ゼロ非対角成分の数は2
  - 番号が自分に対して：+1と-1
- 三次元の場合はもっと複雑
  - 非ゼロ非対角ブロックの数は7～26（現在の形状）
  - 実際はもっと複雑
  - 前以て，非ゼロ非対角ブロックの数はわからない
- INL[N]，INU[N]，IAL[N][NL]，IAU[N][NU]を使って非ゼロ非対角ブロック数（上下）を予備的に勘定する

全体処理

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
FILE* fp_log;
#define GLOBAL_VALUE_DEFINE
#include "pfem_util.h"

extern void INPUT_CNTL();
extern void INPUT_GRID();
extern void MAT_CON0();
extern void MAT_CON1();
extern void MAT_ASS_MAIN();
extern void MAT_ASS_BC();
extern void SOLVE33();
extern void RECOVER_STRESS();
extern void OUTPUT_UCD();
int main()
{

/** Logfile for debug **/
        if( (fp_log=fopen("log.log","w")) == NULL){
                fprintf(stdout,"input file cannot be opened!¥n");
                exit(1);
        }

        INPUT_CNTL();
        INPUT_GRID();


        MAT_CON0();
        MAT_CON1();

        MAT_ASS_MAIN();
        MAT_ASS_BC()  ;

        SOLVE33();

        RECOVER_STRESS();
        OUTPUT_UCD()    ;
}
```

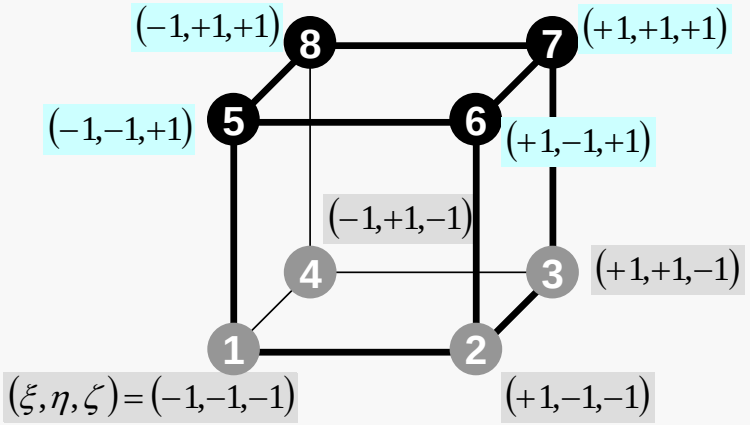


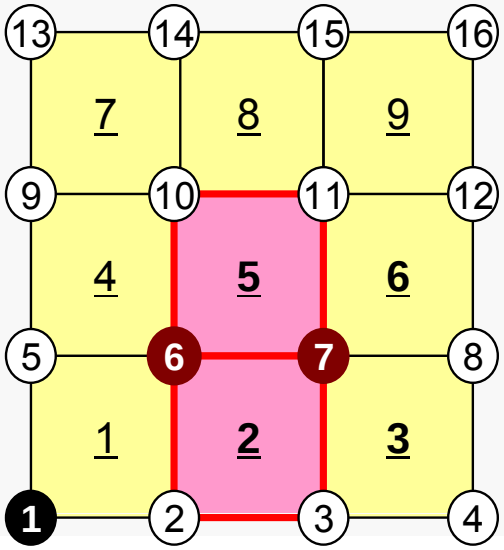
MAT_CON0: INL,INU, IAL, IAU生成
MAT_CON1: index, item生成

とりあえず1から始まる節点番号を記憶

MAT_CON0：全体構成

```
do icel= 1, ICELTOT
  8節点相互の関係から,
  INL, INU, IAL, IAUを生成
  (FIND_NODE)
enddo
```





行列コネクティビティ生成：MAT_CON0（1/4）

```
#include <stdio.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE *fp_log;
extern void mSORT(int*, int*, int);
static void FIND_TS_NODE (int,int);

void MAT_CON0()
{
        int i,j,k,icel,in;
        int in1,in2,in3,in4,in5,in6,in7,in8;
        int NN;

        N2= 256; (この変数は使用しない)
        NU= 26;
        NL= 26;

        INL=(KINT* )allocate_vector(sizeof(KINT),N);
        IAL=(KINT**)allocate_matrix(sizeof(KINT),N,NL);
        INU=(KINT* )allocate_vector(sizeof(KINT),N);
        IAU=(KINT**)allocate_matrix(sizeof(KINT),N,NU);

        for(i=0;i<N;i++) INL[i]=0;
        for(i=0;i<N;i++) for(j=0;j<NL;j++) IAL[i][j]=0;
        for(i=0;i<N;i++) INU[i]=0;
        for(i=0;i<N;i++) for(j=0;j<NU;j++) IAU[i][j]=0;
```

NU, NL:
各節点における
(上下)非ゼロ非対角
ブロックの最大数
(接続する節点数)

今の問題の場合は
わかっているので,
このようにできる

不明の場合の実装:
⇒レポート課題

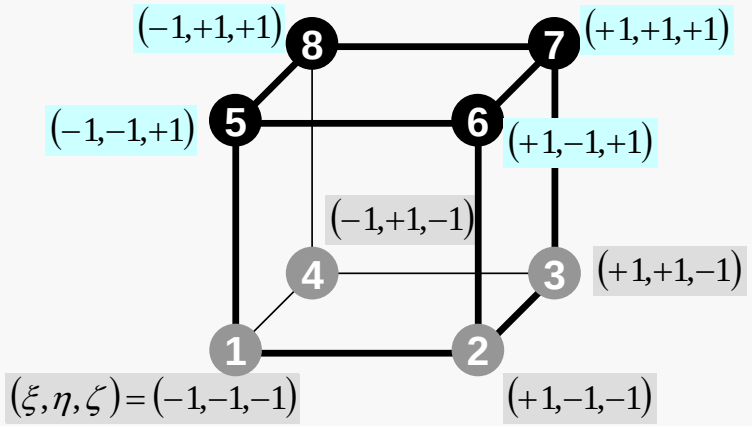
行列コネクティビティ生成：MAT_CON0（1/4）

```
#include <stdio.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE *fp_log;
extern void mSORT(int*, int*, int);
static void FIND_TS_NODE (int,int);

void MAT_CON0()
{
        int i,j,k,icel,in;
        int in1,in2,in3,in4,in5,in6,in7,in8;
        int NN;

        N2= 256; (この変数は使用しない)
        NU= 26;
        NL= 26;

        INL=(KINT* )allocate_vector(sizeof(KINT),N);
        IAL=(KINT**)allocate_matrix(sizeof(KINT),N,NL);
        INU=(KINT* )allocate_vector(sizeof(KINT),N);
        IAU=(KINT**)allocate_matrix(sizeof(KINT),N,NU);

        for(i=0;i<N;i++) INL[i]=0;
        for(i=0;i<N;i++) for(j=0;j<NL;j++) IAL[i][j]=0;
        for(i=0;i<N;i++) INU[i]=0;
        for(i=0;i<N;i++) for(j=0;j<NU;j++) IAU[i][j]=0;
```

変数名	サイズ	内　容
INL, INU	[N]	各節点の上・下三角ブロック数
IAL, IAU	[N][NL], [N][NU]	各節点の上・下三角ブロック（列番号）

行列コネクティビティ生成：MAT_CON0（2/4）：1から始まる番号

```
for( icel=0;icel< ICELTOT;icel++){
    in1=ICELNOD[icel][0];
    in2=ICELNOD[icel][1];
    in3=ICELNOD[icel][2];
    in4=ICELNOD[icel][3];
    in5=ICELNOD[icel][4];
    in6=ICELNOD[icel][5];
    in7=ICELNOD[icel][6];
    in8=ICELNOD[icel][7];

    FIND_TS_NODE (in1,in2);
    FIND_TS_NODE (in1,in3);
    FIND_TS_NODE (in1,in4);
    FIND_TS_NODE (in1,in5);
    FIND_TS_NODE (in1,in6);
    FIND_TS_NODE (in1,in7);
    FIND_TS_NODE (in1,in8);

    FIND_TS_NODE (in2,in1);
    FIND_TS_NODE (in2,in3);
    FIND_TS_NODE (in2,in4);
    FIND_TS_NODE (in2,in5);
    FIND_TS_NODE (in2,in6);
    FIND_TS_NODE (in2,in7);
    FIND_TS_NODE (in2,in8);

    FIND_TS_NODE (in3,in1);
    FIND_TS_NODE (in3,in2);
    FIND_TS_NODE (in3,in4);
    FIND_TS_NODE (in3,in5);
    FIND_TS_NODE (in3,in6);
    FIND_TS_NODE (in3,in7);
    FIND_TS_NODE (in3,in8);
```



節点探索：FIND_TS_NODE

INL,INU,IAL,IAU探索：一次元ではこの部分は手動

```
static void FIND_TS_NODE (int ip1,int ip2)

{
        int kk,icou;
        if( ip1 > ip2 ){
                for(kk=1;kk<=INL[ip1-1];kk++){
                        if(ip2 == IAL[ip1-1][kk-1]) return;
                }
                icou=INL[ip1-1]+1;
                IAL[ip1-1][icou-1]=ip2;
                INL[ip1-1]=icou;
                return;
        }

        if( ip2 > ip1 ) {
                for(kk=1;kk<=INU[ip1-1];kk++){
                        if(ip2 == IAU[ip1-1][kk-1]) return;
                }
                icou=INU[ip1-1]+1;
                IAU[ip1-1][icou-1]=ip2;
                INU[ip1-1]=icou;
                return;
        }
}
```

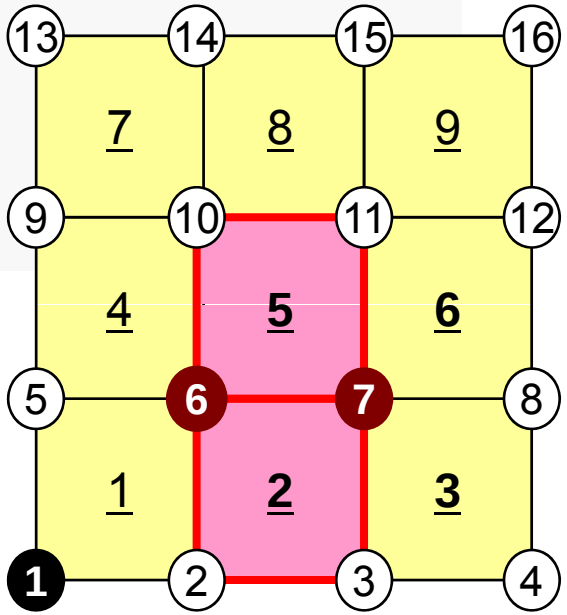
変数名	サイズ	内　容
INL, INU	[N]	各節点の上・下三角ブロック数
IAL, IAU	[N][NL], [N][NU]	各節点の上・下三角ブロック （列番号）

節点探索：FIND_TS_NODE

一次元ではこの部分は手動

```
static void FIND_TS_NODE (int ip1,int ip2)

{
        int kk,icou;
        if( ip1 > ip2 ){
                for(kk=1;kk<=INL[ip1-1];kk++){
                        if(ip2 == IAL[ip1-1][kk-1]) return;
                }
                icou=INL[ip1-1]+1;
                IAL[ip1-1][icou-1]=ip2;
                INL[ip1-1]=icou;
                return;
        }

        if( ip2 > ip1 ) {
                for(kk=1;kk<=INU[ip1-1];kk++){
                        if(ip2 == IAU[ip1-1][kk-1]) return;
                }
                icou=INU[ip1-1]+1;
                IAU[ip1-1][icou-1]=ip2;
                INU[ip1-1]=icou;
                return;
        }
}
```

既にIAL，IAUに含まれている場合は，次のペアへ

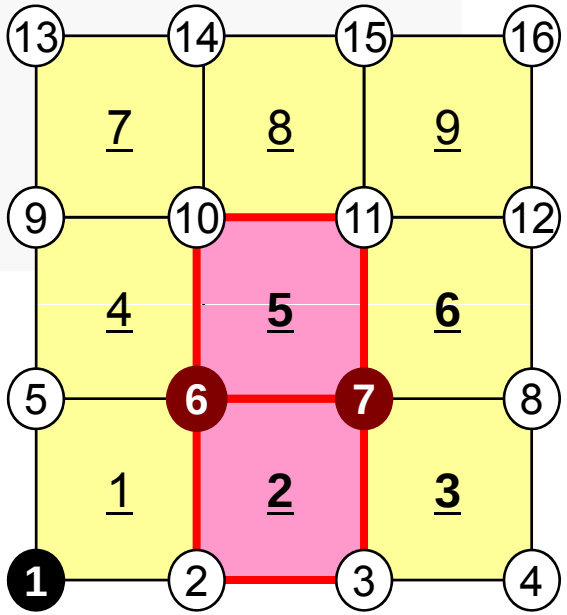


節点探索：FIND_TS_NODE

一次元ではこの部分は手動

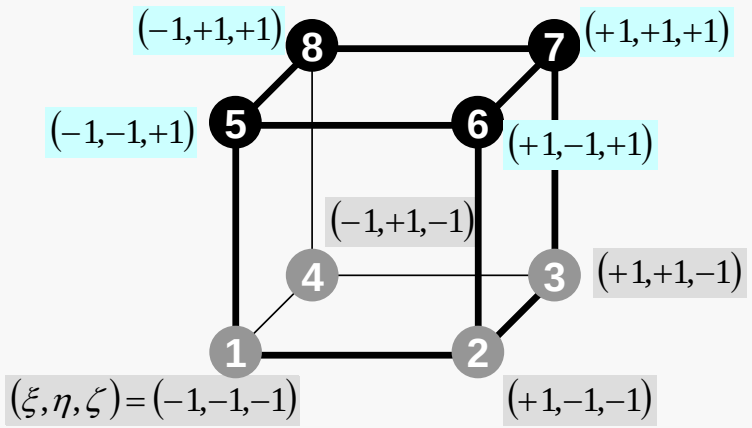
```
static void FIND_TS_NODE (int ip1,int ip2)

{
        int kk,icou;
        if( ip1 > ip2 ){
                for(kk=1;kk<=INL[ip1-1];kk++){
                        if(ip2 == IAL[ip1-1][kk-1]) re
                }
                icou=INL[ip1-1]+1;
                IAL[ip1-1][icou-1]=ip2;
                INL[ip1-1]=icou;
                return;
        }

        if( ip2 > ip1 ) {
                for(kk=1;kk<=INU[ip1-1];kk++){
                        if(ip2 == IAU[ip1-1][kk-1]) return;
                }
                icou=INU[ip1-1]+1;
                IAU[ip1-1][icou-1]=ip2;
                INU[ip1-1]=icou;
                return;
        }
}
```

IAL，IAUに含まれていない場合は，INL・INUに1を加えてIAL，IAUに格納



行列コネクティビティ生成：MAT_CON0（3/4）

```
      FIND_TS_NODE (in4,in1);
      FIND_TS_NODE (in4,in2);
      FIND_TS_NODE (in4,in3);
      FIND_TS_NODE (in4,in5);
      FIND_TS_NODE (in4,in6);
      FIND_TS_NODE (in4,in7);
      FIND_TS_NODE (in4,in8);

      FIND_TS_NODE (in5,in1);
      FIND_TS_NODE (in5,in2);
      FIND_TS_NODE (in5,in3);
      FIND_TS_NODE (in5,in4);
      FIND_TS_NODE (in5,in6);
      FIND_TS_NODE (in5,in7);
      FIND_TS_NODE (in5,in8);

      FIND_TS_NODE (in6,in1);
      FIND_TS_NODE (in6,in2);
      FIND_TS_NODE (in6,in3);
      FIND_TS_NODE (in6,in4);
      FIND_TS_NODE (in6,in5);
      FIND_TS_NODE (in6,in7);
      FIND_TS_NODE (in6,in8);

      FIND_TS_NODE (in7,in1);
      FIND_TS_NODE (in7,in2);
      FIND_TS_NODE (in7,in3);
      FIND_TS_NODE (in7,in4);
      FIND_TS_NODE (in7,in5);
      FIND_TS_NODE (in7,in6);
      FIND_TS_NODE (in7,in8);
```



行列コネクティビティ生成：MAT_CON0（4/4）

```
            FIND_TS_NODE (in8,in1);
            FIND_TS_NODE (in8,in2);
            FIND_TS_NODE (in8,in3);
            FIND_TS_NODE (in8,in4);
            FIND_TS_NODE (in8,in5);
            FIND_TS_NODE (in8,in6);
            FIND_TS_NODE (in8,in7);
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                NN=INL[in];
                for (k=0;k<NN;k++){
                        NCOL1[k]=IAL[in][k];
                }
                mSORT(NCOL1,NCOL2,NN);
                for(k=NN;k>0;k--){
                        IAL[in][NN-k]= NCOL1[NCOL2[k-1]-1];
                }

                NN=INU[in];
                for (k=0;k<NN;k++){
                        NCOL1[k]=IAU[in][k];
                }
                mSORT(NCOL1,NCOL2,NN);
                for(k=NN;k>0;k--){
                        IAU[in][NN-k]= NCOL1[NCOL2[k-1]-1];
                }
        }

}
```

各節点において，
IAL[i][k], IAU[i][k]が小さい番号から大きい番号に並ぶようにソート
（単純なバブルソート）
せいぜい100程度のものをソートする

CRS形式への変換：MAT_CON1

```
#include <stdio.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE* fp_log;
void MAT_CON1()
{       int i,k,kk;

        indexL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        indexU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        for(i=0;i<N+1;i++) indexL[i]=0;
        for(i=0;i<N+1;i++) indexU[i]=0;

        for(i=0;i<N;i++){
                indexL[i+1]=indexL[i]+INL[i];
                indexU[i+1]=indexU[i]+INU[i];
        }
        NPL=indexL[N];
        NPU=indexU[N];

        itemL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPL);
        itemU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPU);

        for(i=0;i<N;i++){
                for(k=0;k<INL[i];k++){
                        kk=k+indexL[i];
                        itemL[kk]=IAL[i][k];
                }
                for(k=0;k<INU[i];k++){
                        kk=k+indexU[i];
                        itemU[kk]=IAU[i][k];
                }
        }
        deallocate_vector(INL);
        deallocate_vector(INU);
        deallocate_vector(IAL);
        deallocate_vector(IAU);
}
```

C

$$\mathrm{indexL}[i+1]=\sum_{k=0}^{i}\mathrm{INL}[k]$$

$$\mathrm{indexU}[i+1]=\sum_{k=0}^{i}\mathrm{INU}[k]$$

$$\mathrm{indexL}[0]=\mathrm{indexU}[0]=0$$

FORTRAN

$$\mathrm{indexL}[i]=\sum_{k=1}^{i}\mathrm{INL}[k]$$

$$\mathrm{indexU}[i]=\sum_{k=1}^{i}\mathrm{INU}[k]$$

$$\mathrm{indexL}[0]=\mathrm{indexU}[0]=0$$

CRS形式への変換：MAT_CON1

```
#include <stdio.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE* fp_log;
void MAT_CON1()
{       int i,k,kk;

        indexL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        indexU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        for(i=0;i<N+1;i++) indexL[i]=0;
        for(i=0;i<N+1;i++) indexU[i]=0;

        for(i=0;i<N;i++){
                indexL[i+1]=indexL[i]+INL[i];
                indexU[i+1]=indexU[i]+INU[i];
        }
        NPL=indexL[N];
        NPU=indexU[N];

        itemL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPL);
        itemU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPU);

        for(i=0;i<N;i++){
                for(k=0;k<INL[i];k++){
                        kk=k+indexL[i];
                        itemL[kk]=IAL[i][k];
                }
                for(k=0;k<INU[i];k++){
                        kk=k+indexU[i];
                        itemU[kk]=IAU[i][k];
                }
        }
        deallocate_vector(INL);
        deallocate_vector(INU);
        deallocate_vector(IAL);
        deallocate_vector(IAU);
}
```

NPL=indexL[N]
itemLのサイズ
非ゼロ非対角ブロック（下三角）総数

NPU=indexU[N]
itemUのサイズ
非ゼロ非対角ブロック（上三角）総数

CRS形式への変換：MAT_CON1

```
#include <stdio.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE* fp_log;
void MAT_CON1()
{       int i,k,kk;

        indexL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        indexU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        for(i=0;i<N+1;i++) indexL[i]=0;
        for(i=0;i<N+1;i++) indexU[i]=0;

        for(i=0;i<N;i++){
                indexL[i+1]=indexL[i]+INL[i];
                indexU[i+1]=indexU[i]+INU[i];
        }
        NPL=indexL[N];
        NPU=indexU[N];

        itemL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPL);
        itemU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPU);

        for(i=0;i<N;i++){
                for(k=0;k<INL[i];k++){
                        kk=k+indexL[i];
                        itemL[kk]=IAL[i][k];
                }
                for(k=0;k<INU[i];k++){
                        kk=k+indexU[i];
                        itemU[kk]=IAU[i][k];
                }
        }
        deallocate_vector(INL);
        deallocate_vector(INU);
        deallocate_vector(IAL);
        deallocate_vector(IAU);
}
```

itemL, itemUにも1から始まる節点番号を記憶

CRS形式への変換：MAT_CON1

```
#include <stdio.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE* fp_log;
void MAT_CON1()
{       int i,k,kk;

        indexL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        indexU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),N+1);
        for(i=0;i<N+1;i++) indexL[i]=0;
        for(i=0;i<N+1;i++) indexU[i]=0;

        for(i=0;i<N;i++){
                indexL[i+1]=indexL[i]+INL[i];
                indexU[i+1]=indexU[i]+INU[i];
        }
        NPL=indexL[N];
        NPU=indexU[N];

        itemL=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPL);
        itemU=(KINT*)allocate_vector(sizeof(KINT),NPU);

        for(i=0;i<N;i++){
                for(k=0;k<INL[i];k++){
                        kk=k+indexL[i];
                        itemL[kk]=IAL[i][k];
                }
                for(k=0;k<INU[i];k++){
                        kk=k+indexU[i];
                        itemU[kk]=IAU[i][k];
                }
        }
        deallocate_vector(INL);
        deallocate_vector(INU);
        deallocate_vector(IAL);
        deallocate_vector(IAU);
}
```

これらはもはや不要

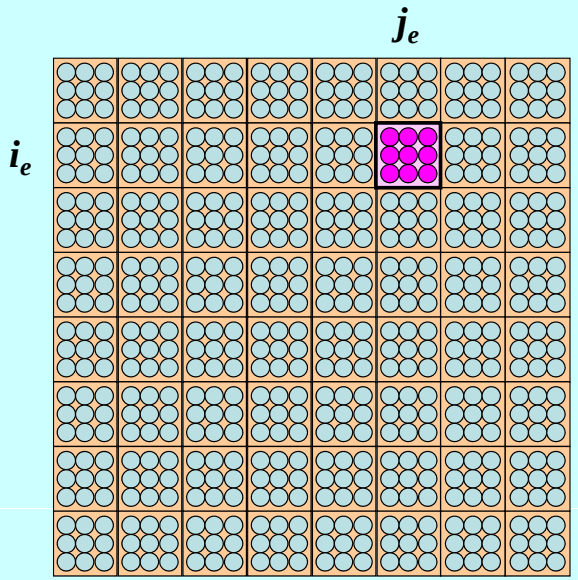
全体処理

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
FILE* fp_log;
#define GLOBAL_VALUE_DEFINE
#include "pfem_util.h"

extern void INPUT_CNTL();
extern void INPUT_GRID();
extern void MAT_CON0();
extern void MAT_CON1();
extern void MAT_ASS_MAIN();
extern void MAT_ASS_BC();
extern void SOLVE33();
extern void RECOVER_STRESS();
extern void OUTPUT_UCD();
int main()
{

/** Logfile for debug **/
        if( (fp_log=fopen("log.log","w")) == NULL){
                fprintf(stdout,"input file cannot be opened!¥n");
                exit(1);
        }

        INPUT_CNTL();
        INPUT_GRID();


        MAT_CON0();
        MAT_CON1();

        MAT_ASS_MAIN();
        MAT_ASS_BC()  ;

        SOLVE33();

        RECOVER_STRESS();
        OUTPUT_UCD()    ;
}
```

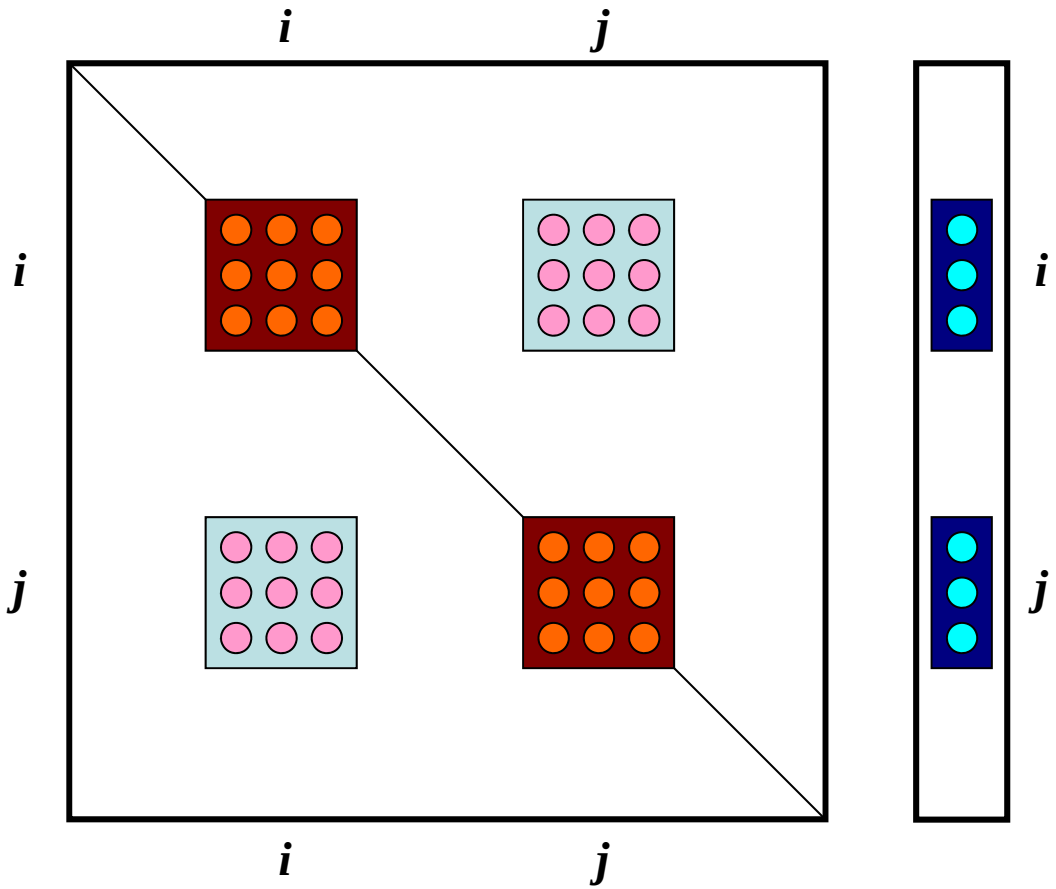
MAT_ASS_MAIN：全体構成

```
do kpn= 1, 2          ガウス積分点番号（ζ方向）
  do jpn= 1, 2        ガウス積分点番号（η方向）
    do ipn= 1, 2      ガウス積分点番号（ξ方向）
      ガウス積分点（8個）における形状関数,
      およびその「自然座標系」における微分の算出
    enddo
  enddo
enddo
```

```
do icel= 1, ICELTOT    要素ループ
  8節点の座標から，ガウス積分点における，形状関数の「全体座標系」における微分,
  およびヤコビアンを算出（JACOBI）

  do ie= 1, 8          局所節点番号
    do je= 1, 8        局所節点番号
      全体節点番号：ip, jp
      Aip, jpのitemL,itemUにおけるアドレス：kk

      do kpn= 1, 2       ガウス積分点番号（ζ方向）
        do jpn= 1, 2     ガウス積分点番号（η方向）
          do ipn= 1, 2   ガウス積分点番号（ξ方向）
            要素積分⇒要素行列成分計算，全体行列への足しこみ
          enddo
        enddo
      enddo
    enddo
  enddo
enddo
```



ブロックとして記憶



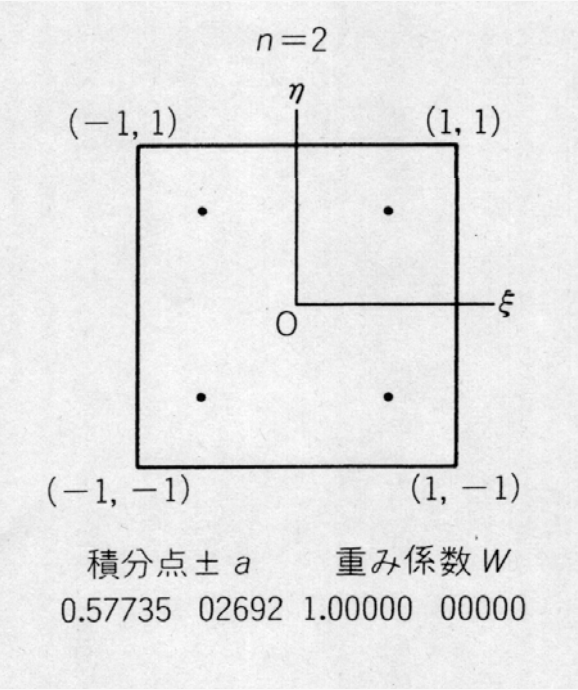
係数行列：MAT_ASS_MAIN（1/7）

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE *fp_log;
extern void JACOBI();
void MAT_ASS_MAIN()
{
            int i,k,kk;
            int ip,jp,kp;
            int ipn,jpn,kpn;
            int icel;
            int ie,je;
            int iiS,iiE;
            int in1,in2,in3,in4,in5,in6,in7,in8;
            double valA,valB,valX;
            double QP1,QM1,EP1,EM1,TP1,TM1;
            double X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8;
            double Y1,Y2,Y3,Y4,Y5,Y6,Y7,Y8;
            double Z1,Z2,Z3,Z4,Z5,Z6,Z7,Z8;
            double PNXi,PNYi,PNZi,PNXj,PNYj,PNZj;
            double VOL;
            double coef;
            double a11,a12,a13,a21,a22,a23,a31,a32,a33;

            KINT nodLOCAL[8];

            AL=(KREAL*) allocate_vector(sizeof(KREAL),9*NPL);          下三角ブロック
            AU=(KREAL*) allocate_vector(sizeof(KREAL),9*NPU);          上三角ブロック
            B =(KREAL*) allocate_vector(sizeof(KREAL),3*N );           右辺ベクトル
            D =(KREAL*) allocate_vector(sizeof(KREAL),9*N);            対角ブロック
            X =(KREAL*) allocate_vector(sizeof(KREAL),3*N);            未知数ベクトル

            for(i=0;i<9*NPL;i++) AL[i]=0.0;
            for(i=0;i<9*NPU;i++) AU[i]=0.0;
            for(i=0;i<3*N ;i++) B[i]=0.0;
            for(i=0;i<9*N ;i++) D[i]=0.0;
            for(i=0;i<3*N ;i++) X[i]=0.0;
```

係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=             POISSON /       (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISSON));

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```

POS: 積分点座標
WEI: 重み係数



係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=            POISSON /      (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISSON));

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```

ひずみ⇒応力関係

$$\begin{Bmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \sigma_z\\ \tau_{xy}\\ \tau_{yz}\\ \tau_{zx}\end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0\\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0\\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(1-2\nu) & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(1-2\nu) & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(1-2\nu)\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\varepsilon_x\\ \varepsilon_y\\ \varepsilon_z\\ \gamma_{xy}\\ \gamma_{yz}\\ \gamma_{zx}\end{Bmatrix}$$

$$[D]$$

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=            POISSON /      (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISSON));

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```

$$\mathrm{valX} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\mathrm{valA} = \frac{\nu}{(1-\nu)} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\mathrm{valB} = \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=            POISSON /      (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISSON));

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```

$$\mathrm{valX} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\mathrm{valA} = \frac{\nu}{(1-\nu)} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\mathrm{valB} = \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ひずみ⇒応力関係

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{valX} & \mathrm{valA} & \mathrm{valA} & 0 & 0 & 0 \\ \mathrm{valA} & \mathrm{valX} & \mathrm{valA} & 0 & 0 & 0 \\ \mathrm{valA} & \mathrm{valA} & \mathrm{valX} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathrm{valB} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{valB} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{valB} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

$$[D]$$

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}$$

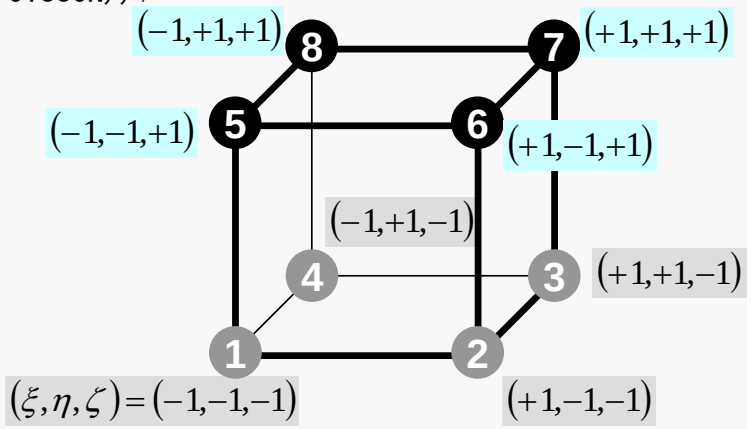
係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=             POISSON /       (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISSON));

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```

$$QP1(i)=(1+\xi_i),\quad QM1(i)=(1-\xi_i)$$
$$EP1(j)=(1+\eta_j),\quad EM1(j)=(1-\eta_i)$$
$$TP1(k)=(1+\zeta_k),\quad TM1(k)=(1-\zeta_k)$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=            POISSON /      (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISSON));

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```



係数行列：MAT_ASS_MAIN（2/7）

```
            WEI[0]= 1.0000000000e0;
            WEI[1]= 1.0000000000e0;

            POS[0]= -0.5773502692e0;
            POS[1]=  0.5773502692e0;

/***
            INIT.
            PNQ   - 1st-order derivative of shape function by QSI
            PNE   - 1st-order derivative of shape function by ETA
            PNT   - 1st-order derivative of shape function by ZET
***/
            valA=             POISSON /       (1.e0-POISSON);
            valB= (1.e0-2.e0*POISSON)/(2.e0*(1.e0-POISSON));
            valX= ELAST*(1.e0-POISSON)/((1.e0+POISSON)*(1.e0-2.e0*POISS

            valA= valA * valX;
            valB= valB * valX;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        QP1= 1.e0 + POS[ip];
                        QM1= 1.e0 - POS[ip];
                        EP1= 1.e0 + POS[jp];
                        EM1= 1.e0 - POS[jp];
                        TP1= 1.e0 + POS[kp];
                        TM1= 1.e0 - POS[kp];

                        SHAPE[ip][jp][kp][0]= 08th * QM1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][1]= 08th * QP1 * EM1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][2]= 08th * QP1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][3]= 08th * QM1 * EP1 * TM1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][4]= 08th * QM1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][5]= 08th * QP1 * EM1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][6]= 08th * QP1 * EP1 * TP1;
                        SHAPE[ip][jp][kp][7]= 08th * QM1 * EP1 * TP1;
```

$$N_1(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)$$

$$N_2(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta)$$

$$N_3(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1+\xi)(1+\eta)(1-\zeta)$$

$$N_4(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta)$$

$$N_5(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta)$$

$$N_6(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1+\xi)(1-\eta)(1+\zeta)$$

$$N_7(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1+\xi)(1+\eta)(1+\zeta)$$

$$N_8(\xi,\eta,\zeta)=\frac{1}{8}(1-\xi)(1+\eta)(1+\zeta)$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（3/7）

```
                PNQ[jp][kp][0]= - 08th * EM1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][1]= + 08th * EM1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][2]= + 08th * EP1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][3]= - 08th * EP1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][4]= - 08th * EM1 * TP1;
                PNQ[jp][kp][5]= + 08th * EM1 * TP1;
                PNQ[jp][kp][6]= + 08th * EP1 * TP1;
                PNQ[jp][kp][7]= - 08th * EP1 * TP1;
                PNE[ip][kp][0]= - 08th * QM1 * TM1;
                PNE[ip][kp][1]= - 08th * QP1 * TM1;
                PNE[ip][kp][2]= + 08th * QP1 * TM1;
                PNE[ip][kp][3]= + 08th * QM1 * TM1;
                PNE[ip][kp][4]= - 08th * QM1 * TP1;
                PNE[ip][kp][5]= - 08th * QP1 * TP1;
                PNE[ip][kp][6]= + 08th * QP1 * TP1;
                PNE[ip][kp][7]= + 08th * QM1 * TP1;
                PNT[ip][jp][0]= - 08th * QM1 * EM1;
                PNT[ip][jp][1]= - 08th * QP1 * EM1;
                PNT[ip][jp][2]= - 08th * QP1 * EP1;
                PNT[ip][jp][3]= - 08th * QM1 * EP1;
                PNT[ip][jp][4]= + 08th * QM1 * EM1;
                PNT[ip][jp][5]= + 08th * QP1 * EM1;
                PNT[ip][jp][6]= + 08th * QP1 * EP1;
                PNT[ip][jp][7]= + 08th * QM1 * EP1;
                            }
                }
}

for( icel=0;icel< ICELTOT;icel++){
                in1=ICELNOD[icel][0];
                in2=ICELNOD[icel][1];
                in3=ICELNOD[icel][2];
                in4=ICELNOD[icel][3];
                in5=ICELNOD[icel][4];
                in6=ICELNOD[icel][5];
                in7=ICELNOD[icel][6];
                in8=ICELNOD[icel][7];
```

$$PNQ(j,k)=\frac{\partial N_l}{\partial \xi}(\xi=\xi_i,\eta=\eta_j,\zeta=\zeta_k)$$

$$PNE(i,k)=\frac{\partial N_l}{\partial \eta}(\xi=\xi_i,\eta=\eta_j,\zeta=\zeta_k)$$

$$PNT(i,j)=\frac{\partial N_l}{\partial \zeta}(\xi=\xi_i,\eta=\eta_j,\zeta=\zeta_k)$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial \xi}(\xi_i,\eta_j,\zeta_k)=-\frac{1}{8}(1-\eta_j)(1-\zeta_k)$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial \xi}(\xi_i,\eta_j,\zeta_k)=+\frac{1}{8}(1-\eta_j)(1-\zeta_k)$$

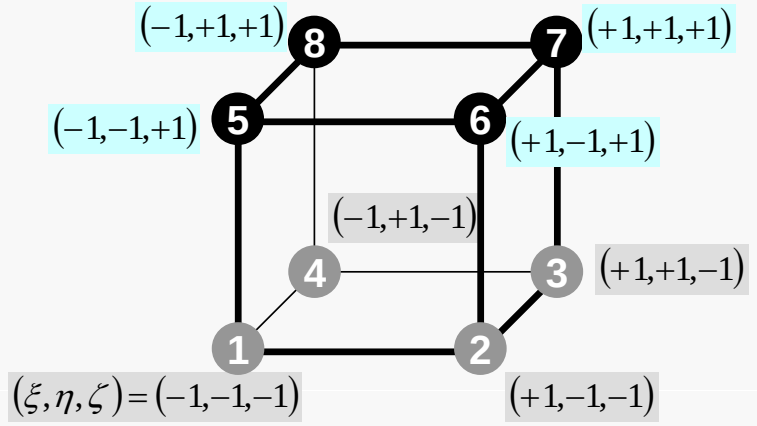
$$\frac{\partial N_3}{\partial \xi}(\xi_i,\eta_j,\zeta_k)=+\frac{1}{8}(1+\eta_j)(1-\zeta_k)$$

$$\frac{\partial N_3}{\partial \xi}(\xi_i,\eta_j,\zeta_k)=-\frac{1}{8}(1+\eta_j)(1-\zeta_k)$$

(ξ_i,η_j,ζ_k) における形状関数の一階微分

係数行列：MAT_ASS_MAIN（3/7）

```
                PNQ[jp][kp][0]= - 08th * EM1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][1]= + 08th * EM1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][2]= + 08th * EP1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][3]= - 08th * EP1 * TM1;
                PNQ[jp][kp][4]= - 08th * EM1 * TP1;
                PNQ[jp][kp][5]= + 08th * EM1 * TP1;
                PNQ[jp][kp][6]= + 08th * EP1 * TP1;
                PNQ[jp][kp][7]= - 08th * EP1 * TP1;
                PNE[ip][kp][0]= - 08th * QM1 * TM1;
                PNE[ip][kp][1]= - 08th * QP1 * TM1;
                PNE[ip][kp][2]= + 08th * QP1 * TM1;
                PNE[ip][kp][3]= + 08th * QM1 * TM1;
                PNE[ip][kp][4]= - 08th * QM1 * TP1;
                PNE[ip][kp][5]= - 08th * QP1 * TP1;
                PNE[ip][kp][6]= + 08th * QP1 * TP1;
                PNE[ip][kp][7]= + 08th * QM1 * TP1;
                PNT[ip][jp][0]= - 08th * QM1 * EM1;
                PNT[ip][jp][1]= - 08th * QP1 * EM1;
                PNT[ip][jp][2]= - 08th * QP1 * EP1;
                PNT[ip][jp][3]= - 08th * QM1 * EP1;
                PNT[ip][jp][4]= + 08th * QM1 * EM1;
                PNT[ip][jp][5]= + 08th * QP1 * EM1;
                PNT[ip][jp][6]= + 08th * QP1 * EP1;
                PNT[ip][jp][7]= + 08th * QM1 * EP1;
                            }
                }
}

for( icel=0;icel< ICELTOT;icel++){
                in1=ICELNOD[icel][0];
                in2=ICELNOD[icel][1];
                in3=ICELNOD[icel][2];
                in4=ICELNOD[icel][3];
                in5=ICELNOD[icel][4];
                in6=ICELNOD[icel][5];
                in7=ICELNOD[icel][6];
                in8=ICELNOD[icel][7];
```



係数行列：MAT_ASS_MAIN（4/7）

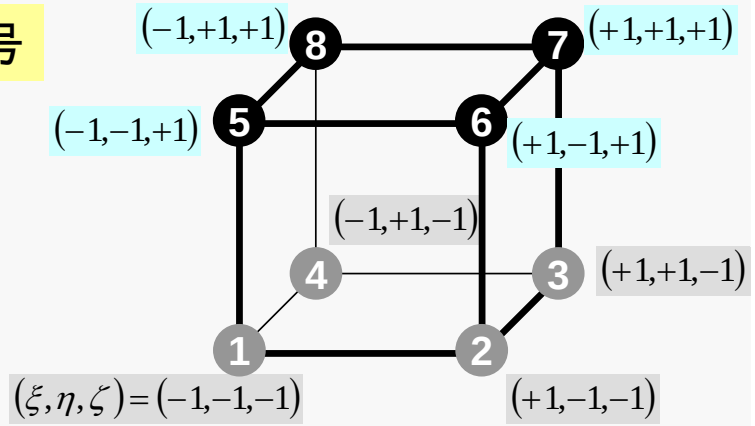
```
/**
 ** JACOBIAN & INVERSE JACOBIAN
**/
                        nodLOCAL[0]= in1;
                        nodLOCAL[1]= in2;
                        nodLOCAL[2]= in3;
                        nodLOCAL[3]= in4;
                        nodLOCAL[4]= in5;
                        nodLOCAL[5]= in6;
                        nodLOCAL[6]= in7;
                        nodLOCAL[7]= in8;

                        X1=XYZ[in1-1][0];
                        X2=XYZ[in2-1][0];
                        X3=XYZ[in3-1][0];
                        X4=XYZ[in4-1][0];
                        X5=XYZ[in5-1][0];
                        X6=XYZ[in6-1][0];
                        X7=XYZ[in7-1][0];
                        X8=XYZ[in8-1][0];

                        Y1=XYZ[in1-1][1];
                        Y2=XYZ[in2-1][1];
                        Y3=XYZ[in3-1][1];
                        Y4=XYZ[in4-1][1];
                        Y5=XYZ[in5-1][1];
                        Y6=XYZ[in6-1][1];
                        Y7=XYZ[in7-1][1];
                        Y8=XYZ[in8-1][1];

                        Z1=XYZ[in1-1][2];
                        Z2=XYZ[in2-1][2];
                        Z3=XYZ[in3-1][2];
                        Z4=XYZ[in4-1][2];
                        Z5=XYZ[in5-1][2];
                        Z6=XYZ[in6-1][2];
                        Z7=XYZ[in7-1][2];
                        Z8=XYZ[in8-1][2];

                        JACOBI(DETJ, PNQ, PNE, PNT, PNX, PNY, PNZ, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8,
                               Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8);
```

8節点の節点番号

8節点のX座標

8節点のY座標

8節点のZ座標



座標値：
節点番号から1引く

JACOBI（1/4）

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include "precision.h"
#include "allocate.h"
/***
 *** JACOBI
 ***/
void JACOBI(
            KREAL DETJ[2][2][2],
            KREAL PNQ[2][2][8],KREAL PNE[2][2][8],KREAL PNT[2][2][8],
            KREAL PNX[2][2][2][8],KREAL PNY[2][2][2][8],KREAL PNZ[2][2][2][8],
            KREAL X1,KREAL X2,KREAL X3,KREAL X4,KREAL X5,KREAL X6,KREAL X7,KREAL X8,
            KREAL Y1,KREAL Y2,KREAL Y3,KREAL Y4,KREAL Y5,KREAL Y6,KREAL Y7,KREAL Y8,
            KREAL Z1,KREAL Z2,KREAL Z3,KREAL Z4,KREAL Z5,KREAL Z6,KREAL Z7,KREAL Z8)
{
/**
            calculates JACOBIAN & INVERSE JACOBIAN
                        dNi/dx, dNi/dy & dNi/dz
**/
            int ip,jp,kp;
            double dXdQ,dYdQ,dZdQ,dXdE,dYdE,dZdE,dXdT,dYdT,dZdT;
            double coef;
            double a11,a12,a13,a21,a22,a23,a31,a32,a33;

            for(ip=0;ip<2;ip++){
                for(jp=0;jp<2;jp++){
                    for(kp=0;kp<2;kp++){
                        PNX[ip][jp][kp][0]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][1]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][2]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][3]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][4]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][5]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][6]=0.0;
                        PNX[ip][jp][kp][7]=0.0;
```

入力 $\left[\frac{\partial N_l}{\partial \xi},\frac{\partial N_l}{\partial \eta},\frac{\partial N_l}{\partial \zeta}\right],(x_l,y_l,z_l)(l=1\sim 8)$

出力 $\left[\frac{\partial N_l}{\partial x},\frac{\partial N_l}{\partial y},\frac{\partial N_l}{\partial z}\right],\det|J|$

各ガウス積分点[ip][jp][kp]における値

自然座標系における偏微分（1/4）

- 偏微分の公式より以下のようになる：

$$\frac{\partial N_i(\xi,\eta,\zeta)}{\partial \xi} = \frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \xi} + \frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial \xi}$$

$$\frac{\partial N_i(\xi,\eta,\zeta)}{\partial \eta} = \frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \eta} + \frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial \eta}$$

$$\frac{\partial N_i(\xi,\eta,\zeta)}{\partial \zeta} = \frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \zeta} + \frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \zeta} + \frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial \zeta}$$

$\left[\frac{\partial N_i}{\partial \xi}, \frac{\partial N_i}{\partial \eta}, \frac{\partial N_i}{\partial \zeta}\right]$ は定義より簡単に求められるが

$\left[\frac{\partial N_i}{\partial x}, \frac{\partial N_i}{\partial y}, \frac{\partial N_i}{\partial z}\right]$ を実際の計算で使用する

自然座標系における偏微分（2/4）

- マトリックス表示すると：

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix}$$

$$[J] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix}$$

$[J]$: ヤコビのマトリクス（Jacobi matrix Jacobian）

自然座標系における偏微分（3/4）

- N_iの定義より簡単に求められる

$$J_{11}=\frac{\partial x}{\partial \xi}=\frac{\partial}{\partial \xi}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i x_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \xi}x_i,\quad J_{12}=\frac{\partial y}{\partial \xi}=\frac{\partial}{\partial \xi}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i y_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \xi}y_i,$$

$$J_{13}=\frac{\partial z}{\partial \xi}=\frac{\partial}{\partial \xi}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i z_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \xi}z$$

$$J_{21}=\frac{\partial x}{\partial \eta}=\frac{\partial}{\partial \eta}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i x_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \eta}x_i,\quad J_{22}=\frac{\partial y}{\partial \eta}=\frac{\partial}{\partial \eta}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i y_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \eta}y_i,$$

$$J_{23}=\frac{\partial z}{\partial \eta}=\frac{\partial}{\partial \eta}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i z_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \eta}z_i$$

$$J_{31}=\frac{\partial x}{\partial \zeta}=\frac{\partial}{\partial \zeta}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i x_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \zeta}x_i,\quad J_{32}=\frac{\partial y}{\partial \zeta}=\frac{\partial}{\partial \zeta}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i y_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \zeta}y_i,$$

$$J_{33}=\frac{\partial z}{\partial \zeta}=\frac{\partial}{\partial \zeta}\left(\sum_{i=1}^{8}N_i z_i\right)=\sum_{i=1}^{8}\frac{\partial N_i}{\partial \zeta}z_i$$

JACOBI（2/4）

```
                        PNY[ip][jp][kp][0]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][1]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][2]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][3]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][4]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][5]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][6]=0.0;
                        PNY[ip][jp][kp][7]=0.0;

                        PNZ[ip][jp][kp][0]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][1]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][2]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][3]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][4]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][5]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][6]=0.0;
                        PNZ[ip][jp][kp][7]=0.0;

/**
            DETERMINANT of the JACOBIAN
**/
                        dXdQ = PNQ[jp][kp][0]*X1 + PNQ[jp][kp][1]*X2
                                + PNQ[jp][kp][2]*X3 + PNQ[jp][kp][3]*X4
                                + PNQ[jp][kp][4]*X5 + PNQ[jp][kp][5]*X6
                                + PNQ[jp][kp][6]*X7 + PNQ[jp][kp][7]*X8;
                        dYdQ = PNQ[jp][kp][0]*Y1 + PNQ[jp][kp][1]*Y2
                                + PNQ[jp][kp][2]*Y3 + PNQ[jp][kp][3]*Y4
                                + PNQ[jp][kp][4]*Y5 + PNQ[jp][kp][5]*Y6
                                + PNQ[jp][kp][6]*Y7 + PNQ[jp][kp][7]*Y8;
                        dZdQ = PNQ[jp][kp][0]*Z1 + PNQ[jp][kp][1]*Z2
                                + PNQ[jp][kp][2]*Z3 + PNQ[jp][kp][3]*Z4
                                + PNQ[jp][kp][4]*Z5 + PNQ[jp][kp][5]*Z6
                                + PNQ[jp][kp][6]*Z7 + PNQ[jp][kp][7]*Z8;
                        dXdE = PNE[ip][kp][0]*X1 + PNE[ip][kp][1]*X2
                                + PNE[ip][kp][2]*X3 + PNE[ip][kp][3]*X4
                                + PNE[ip][kp][4]*X5 + PNE[ip][kp][5]*X6
                                + PNE[ip][kp][6]*X7 + PNE[ip][kp][7]*X8;
```

$$[J]=\begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix}$$

$$\mathrm{dXdQ}=\frac{\partial x}{\partial \xi}=J_{11}$$

$$\mathrm{dYdQ}=\frac{\partial y}{\partial \xi}=J_{12}$$

$$\mathrm{dZdQ}=\frac{\partial z}{\partial \xi}=J_{13}$$

JACOBI (3/4)

```
                        dYdE = PNE[ip][kp][0]*Y1 + PNE[ip][kp][1]*Y2
                                  + PNE[ip][kp][2]*Y3 + PNE[ip][kp][3]*Y4
                                  + PNE[ip][kp][4]*Y5 + PNE[ip][kp][5]*Y6
                                  + PNE[ip][kp][6]*Y7 + PNE[ip][kp][7]*Y8;
                        dZdE = PNE[ip][kp][0]*Z1 + PNE[ip][kp][1]*Z2
                                  + PNE[ip][kp][2]*Z3 + PNE[ip][kp][3]*Z4
                                  + PNE[ip][kp][4]*Z5 + PNE[ip][kp][5]*Z6
                                  + PNE[ip][kp][6]*Z7 + PNE[ip][kp][7]*Z8;
                        dXdT = PNT[ip][jp][0]*X1 + PNT[ip][jp][1]*X2
                                  + PNT[ip][jp][2]*X3 + PNT[ip][jp][3]*X4
                                  + PNT[ip][jp][4]*X5 + PNT[ip][jp][5]*X6
                                  + PNT[ip][jp][6]*X7 + PNT[ip][jp][7]*X8;
                        dYdT = PNT[ip][jp][0]*Y1 + PNT[ip][jp][1]*Y2
                                  + PNT[ip][jp][2]*Y3 + PNT[ip][jp][3]*Y4
                                  + PNT[ip][jp][4]*Y5 + PNT[ip][jp][5]*Y6
                                  + PNT[ip][jp][6]*Y7 + PNT[ip][jp][7]*Y8;
                        dZdT = PNT[ip][jp][0]*Z1 + PNT[ip][jp][1]*Z2
                                  + PNT[ip][jp][2]*Z3 + PNT[ip][jp][3]*Z4
                                  + PNT[ip][jp][4]*Z5 + PNT[ip][jp][5]*Z6
                                  + PNT[ip][jp][6]*Z7 + PNT[ip][jp][7]*Z8;
                        DETJ[ip][jp][kp]= dXdQ*(dYdE*dZdT-dZdE*dYdT) +
                                          dYdQ*(dZdE*dXdT-dXdE*dZdT) +
                                          dZdQ*(dXdE*dYdT-dYdE*dXdT);
/**
    INVERSE JACOBIAN
**/
                        coef=1.0 / DETJ[ip][jp][kp];

                        a11= coef * ( dYdE*dZdT - dZdE*dYdT );
                        a12= coef * ( dZdQ*dYdT - dYdQ*dZdT );
                        a13= coef * ( dYdQ*dZdE - dZdQ*dYdE );

                        a21= coef * ( dZdE*dXdT - dXdE*dZdT );
                        a22= coef * ( dXdQ*dZdT - dZdQ*dXdT );
                        a23= coef * ( dZdQ*dXdE - dXdQ*dZdE );

                        a31= coef * ( dXdE*dYdT - dYdE*dXdT );
                        a32= coef * ( dYdQ*dXdT - dXdQ*dYdT );
                        a33= coef * ( dXdQ*dYdE - dYdQ*dXdE );

                        DETJ[ip][jp][kp]=fabs(DETJ[ip][jp][kp]);
```

$$[J]=\begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix}$$

自然座標系における偏微分（4/4）

- 従って下記のように偏微分を計算できる
  - ヤコビアン（3×3行列）の逆行列を求める

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{Bmatrix} = \left[J \right]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{Bmatrix}$$

JACOBI （3/4）

```
                        dYdE = PNE[ip][kp][0]*Y1 + PNE[ip][kp][1]*Y2
                                + PNE[ip][kp][2]*Y3 + PNE[ip][kp][3]*Y4
                                + PNE[ip][kp][4]*Y5 + PNE[ip][kp][5]*Y6
                                + PNE[ip][kp][6]*Y7 + PNE[ip][kp][7]*Y8;
                        dZdE = PNE[ip][kp][0]*Z1 + PNE[ip][kp][1]*Z2
                                + PNE[ip][kp][2]*Z3 + PNE[ip][kp][3]*Z4
                                + PNE[ip][kp][4]*Z5 + PNE[ip][kp][5]*Z6
                                + PNE[ip][kp][6]*Z7 + PNE[ip][kp][7]*Z8;
                        dXdT = PNT[ip][jp][0]*X1 + PNT[ip][jp][1]*X2
                                + PNT[ip][jp][2]*X3 + PNT[ip][jp][3]*X4
                                + PNT[ip][jp][4]*X5 + PNT[ip][jp][5]*X6
                                + PNT[ip][jp][6]*X7 + PNT[ip][jp][7]*X8;
                        dYdT = PNT[ip][jp][0]*Y1 + PNT[ip][jp][1]*Y2
                                + PNT[ip][jp][2]*Y3 + PNT[ip][jp][3]*Y4
                                + PNT[ip][jp][4]*Y5 + PNT[ip][jp][5]*Y6
                                + PNT[ip][jp][6]*Y7 + PNT[ip][jp][7]*Y8;
                        dZdT = PNT[ip][jp][0]*Z1 + PNT[ip][jp][1]*Z2
                                + PNT[ip][jp][2]*Z3 + PNT[ip][jp][3]*Z4
                                + PNT[ip][jp][4]*Z5 + PNT[ip][jp][5]*Z6
                                + PNT[ip][jp][6]*Z7 + PNT[ip][jp][7]*Z8;
                        DETJ[ip][jp][kp]= dXdQ*(dYdE*dZdT-dZdE*dYdT) +
                                          dYdQ*(dZdE*dXdT-dXdE*dZdT) +
                                          dZdQ*(dXdE*dYdT-dYdE*dXdT);
/**
    INVERSE JACOBIAN
**/
                        coef=1.0 / DETJ[ip][jp][kp];

                        a11= coef * ( dYdE*dZdT - dZdE*dYdT );
                        a12= coef * ( dZdQ*dYdT - dYdQ*dZdT );
                        a13= coef * ( dYdQ*dZdE - dZdQ*dYdE );

                        a21= coef * ( dZdE*dXdT - dXdE*dZdT );
                        a22= coef * ( dXdQ*dZdT - dZdQ*dXdT );
                        a23= coef * ( dZdQ*dXdE - dXdQ*dZdE );

                        a31= coef * ( dXdE*dYdT - dYdE*dXdT );
                        a32= coef * ( dYdQ*dXdT - dXdQ*dYdT );
                        a33= coef * ( dXdQ*dYdE - dYdQ*dXdE );

                        DETJ[ip][jp][kp]=fabs(DETJ[ip][jp][kp]);
```

$$[J]^{-1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

JACOBI（4/4）

```
/**
    set the dNi/dX, dNi/dY & dNi/dZ components
**/
            PNX[ip][jp][kp][0]=a11*PNQ[jp][kp][0]+a12*PNE[ip][kp][0]+a13*PNT[ip][jp][0];
            PNX[ip][jp][kp][1]=a11*PNQ[jp][kp][1]+a12*PNE[ip][kp][1]+a13*PNT[ip][jp][1];
            PNX[ip][jp][kp][2]=a11*PNQ[jp][kp][2]+a12*PNE[ip][kp][2]+a13*PNT[ip][jp][2];
            PNX[ip][jp][kp][3]=a11*PNQ[jp][kp][3]+a12*PNE[ip][kp][3]+a13*PNT[ip][jp][3];
            PNX[ip][jp][kp][4]=a11*PNQ[jp][kp][4]+a12*PNE[ip][kp][4]+a13*PNT[ip][jp][4];
            PNX[ip][jp][kp][5]=a11*PNQ[jp][kp][5]+a12*PNE[ip][kp][5]+a13*PNT[ip][jp][5];
            PNX[ip][jp][kp][6]=a11*PNQ[jp][kp][6]+a12*PNE[ip][kp][6]+a13*PNT[ip][jp][6];
            PNX[ip][jp][kp][7]=a11*PNQ[jp][kp][7]+a12*PNE[ip][kp][7]+a13*PNT[ip][jp][7];
            PNY[ip][jp][kp][0]=a21*PNQ[jp][kp][0]+a22*PNE[ip][kp][0]+a23*PNT[ip][jp][0];
            PNY[ip][jp][kp][1]=a21*PNQ[jp][kp][1]+a22*PNE[ip][kp][1]+a23*PNT[ip][jp][1];
            PNY[ip][jp][kp][2]=a21*PNQ[jp][kp][2]+a22*PNE[ip][kp][2]+a23*PNT[ip][jp][2];
            PNY[ip][jp][kp][3]=a21*PNQ[jp][kp][3]+a22*PNE[ip][kp][3]+a23*PNT[ip][jp][3];
            PNY[ip][jp][kp][4]=a21*PNQ[jp][kp][4]+a22*PNE[ip][kp][4]+a23*PNT[ip][jp][4];
            PNY[ip][jp][kp][5]=a21*PNQ[jp][kp][5]+a22*PNE[ip][kp][5]+a23*PNT[ip][jp][5];
            PNY[ip][jp][kp][6]=a21*PNQ[jp][kp][6]+a22*PNE[ip][kp][6]+a23*PNT[ip][jp][6];
            PNY[ip][jp][kp][7]=a21*PNQ[jp][kp][7]+a22*PNE[ip][kp][7]+a23*PNT[ip][jp][7];
            PNZ[ip][jp][kp][0]=a31*PNQ[jp][kp][0]+a32*PNE[ip][kp][0]+a33*PNT[ip][jp][0];
            PNZ[ip][jp][kp][1]=a31*PNQ[jp][kp][1]+a32*PNE[ip][kp][1]+a33*PNT[ip][jp][1];
            PNZ[ip][jp][kp][2]=a31*PNQ[jp][kp][2]+a32*PNE[ip][kp][2]+a33*PNT[ip][jp][2];
            PNZ[ip][jp][kp][3]=a31*PNQ[jp][kp][3]+a32*PNE[ip][kp][3]+a33*PNT[ip][jp][3];
            PNZ[ip][jp][kp][4]=a31*PNQ[jp][kp][4]+a32*PNE[ip][kp][4]+a33*PNT[ip][jp][4];
            PNZ[ip][jp][kp][5]=a31*PNQ[jp][kp][5]+a32*PNE[ip][kp][5]+a33*PNT[ip][jp][5];
            PNZ[ip][jp][kp][6]=a31*PNQ[jp][kp][6]+a32*PNE[ip][kp][6]+a33*PNT[ip][jp][6];
            PNZ[ip][jp][kp][7]=a31*PNQ[jp][kp][7]+a32*PNE[ip][kp][7]+a33*PNT[ip][jp][7];
                                }
                        }
                }
}
```

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{Bmatrix}$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（5/7）

```
/**
        CONSTRUCT the GLOBAL MATRIX
**/
                for(ie=0;ie<8;ie++){
                    ip=nodLOCAL[ie];

                    for(je=0;je<8;je++){
                        jp=nodLOCAL[je];

                        kk=0;
                        if( jp > ip ){
                            iiS=indexU[ip-1]+1;
                            iiE=indexU[ip  ];
                            for( k=iiS;k<=iiE;k++){
                                if( itemU[k-1] == jp ){
                                    kk=k;
                                    break;
                                }
                            }
                        }

                        if( jp < ip ){
                            iiS=indexL[ip-1]+1;
                            iiE=indexL[ip  ];
                            for( k=iiS;k<=iiE;k++){
                                if( itemL[k-1] == jp ){
                                    kk=k;
                                    break;
                                }
                            }
                        }

                        PNXi= 0.e0;
                        PNYi= 0.e0;
                        PNZi= 0.e0;
                        PNXj= 0.e0;
                        PNYj= 0.e0;
                        PNZj= 0.e0;

                        VOL= 0.e0;
```

全体行列の非対角ブロック

$A_{ip,jp}$

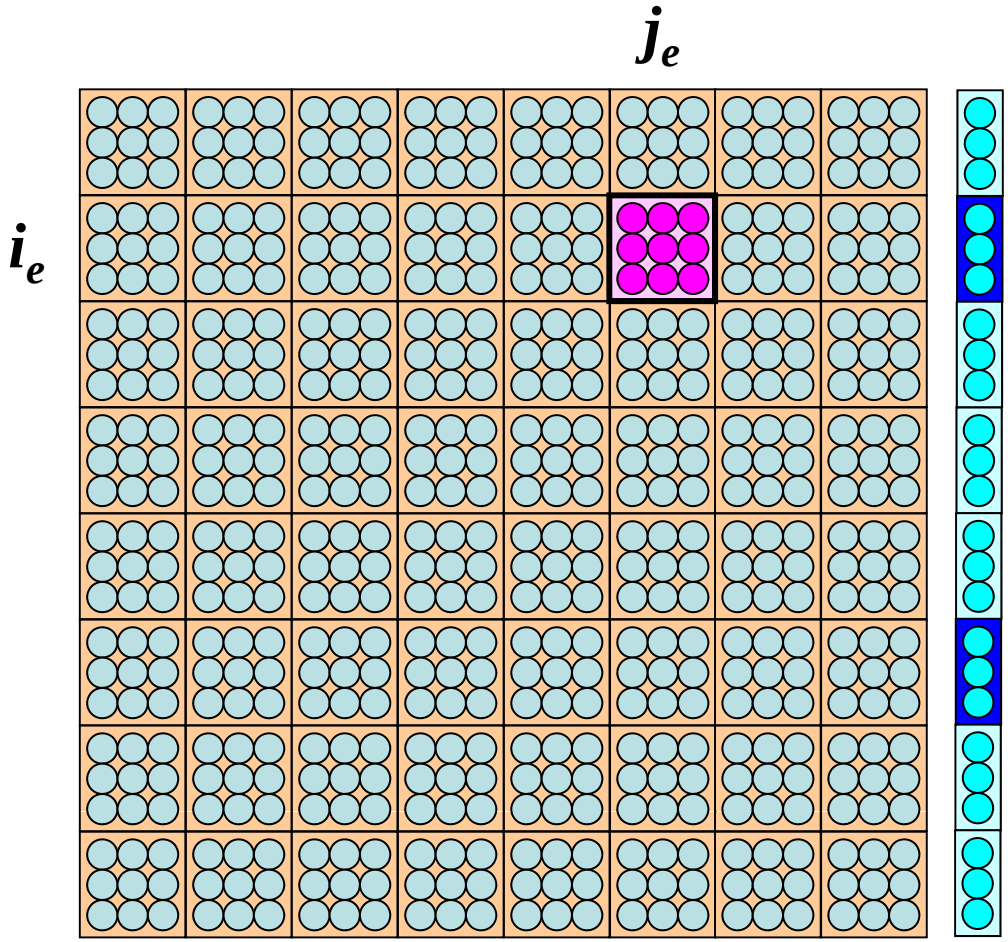
kk：itemL，itemUにおけるアドレス

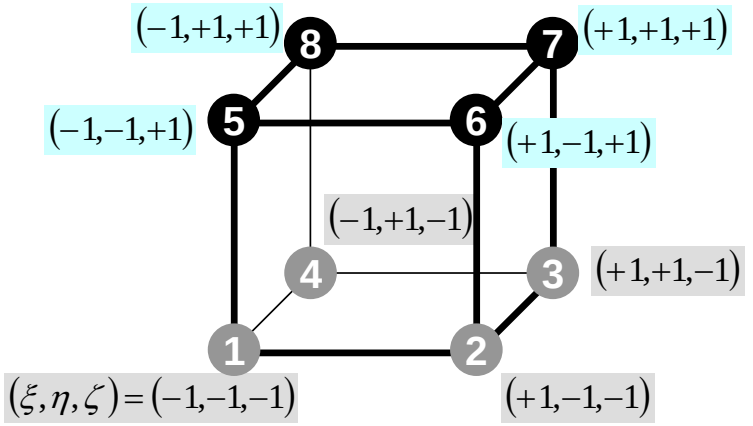
ip= nodLOCAL[ie]
jp= nodLOCAL[je]

1から始まる節点番号

要素マトリクス：24×24行列

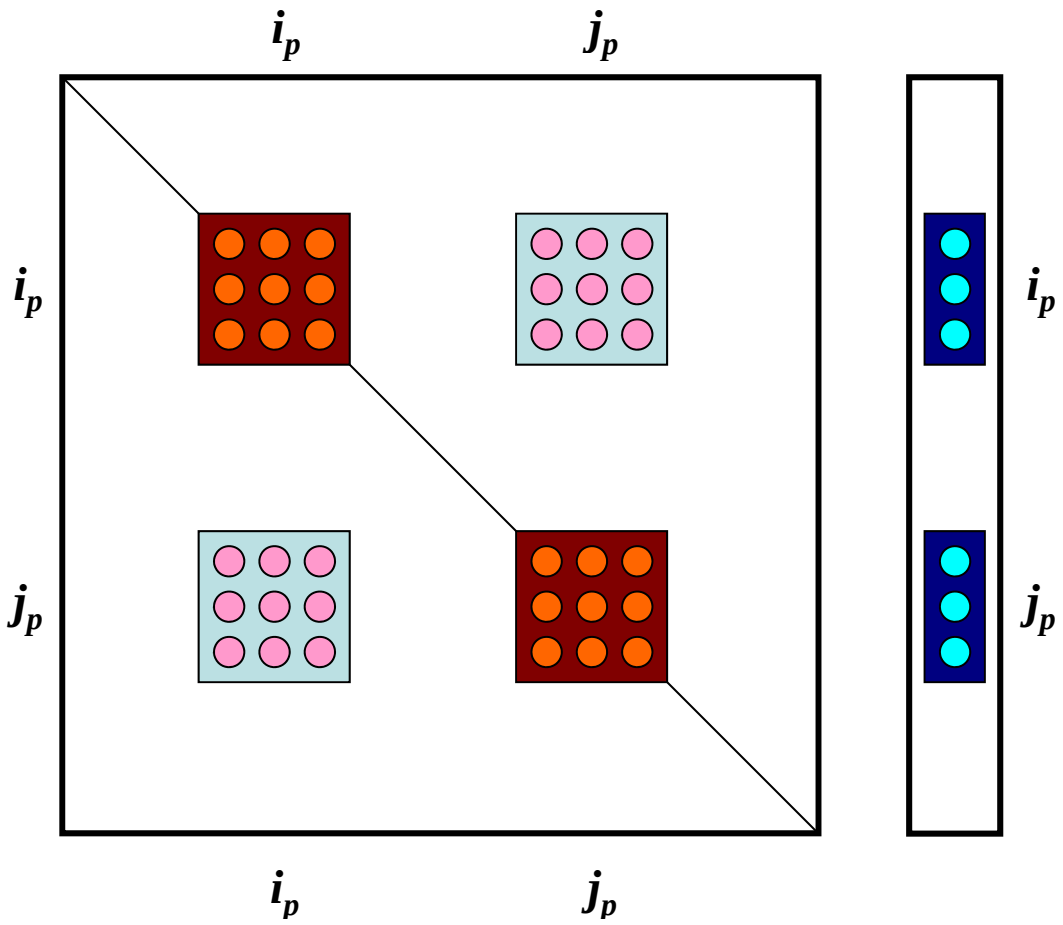
各節点上の（u,v,w）成分が物理的にも強くカップルしているので3自由度をまとめて扱う：8×8行列





$$\begin{bmatrix} a_{i_e j_e 11} & a_{i_e j_e 12} & a_{i_e j_e 13} \\ a_{i_e j_e 21} & a_{i_e j_e 22} & a_{i_e j_e 23} \\ a_{i_e j_e 31} & a_{i_e j_e 32} & a_{i_e j_e 33} \end{bmatrix} (i_e, j_e = 1 \ldots 8)$$

全体マトリクス



係数行列：MAT_ASS_MAIN（5/7）

```
/**
        CONSTRUCT the GLOBAL MATRIX
**/
                for(ie=0;ie<8;ie++){
                    ip=nodLOCAL[ie];

                    for(je=0;je<8;je++){
                        jp=nodLOCAL[je];

                        kk=0;
                        if( jp > ip ){
                            iiS=indexU[ip-1]+1;
                            iiE=indexU[ip  ];
                            for( k=iiS;k<=iiE;k++){
                                if( itemU[k-1] == jp ){
                                    kk=k;
                                    break;
                                                    }
                                                }
                            }

                        if( jp < ip ){
                            iiS=indexL[ip-1]+1;
                            iiE=indexL[ip  ];
                            for( k=iiS;k<=iiE;k++){
                                if( itemL[k-1] == jp ){
                                    kk=k;
                                    break;
                                                    }
                                                }
                            }

                        PNXi= 0.e0;
                        PNYi= 0.e0;
                        PNZi= 0.e0;
                        PNXj= 0.e0;
                        PNYj= 0.e0;
                        PNZj= 0.e0;

                        VOL= 0.e0;
```

要素マトリクス（i_e~j_e）
全体マトリクス（i_p~j_p）の関係

kk：itemU，itemLにおけるアドレスに1を足した値（1から始まる）

係数行列：MAT_ASS_MAIN（6/7）

```
a11= 0.0e0; a12= 0.0e0; a13= 0.0e0;
a21= 0.0e0; a22= 0.0e0; a23= 0.0e0;
a31= 0.0e0; a32= 0.0e0; a33= 0.0e0;

for(ipn=0;ipn<2;ipn++){
    for(jpn=0;jpn<2;jpn++){
        for(kpn=0;kpn<2;kpn++){

            coef= -fabs(DETJ[ipn][jpn][kpn])*WEI[ipn]*WEI[jpn]*WEI[kpn];

            VOL+=coef;
            PNXi= PNX[ipn][jpn][kpn][ie];
            PNYi= PNY[ipn][jpn][kpn][ie];
            PNZi= PNZ[ipn][jpn][kpn][ie];

            PNXj= PNX[ipn][jpn][kpn][je];
            PNYj= PNY[ipn][jpn][kpn][je];
            PNZj= PNZ[ipn][jpn][kpn][je];

            a11+= (valX*PNXi*PNXj+valB*(PNYi*PNYj+PNZi*PNZj))*coef;
            a22+= (valX*PNYi*PNYj+valB*(PNZi*PNZj+PNXi*PNXj))*coef;
            a33+= (valX*PNZi*PNZj+valB*(PNXi*PNXj+PNYi*PNYj))*coef;

            a12+= (valA*PNXi*PNYj + valB*PNXj*PNYi)*coef;
            a13+= (valA*PNXi*PNZj + valB*PNXj*PNZi)*coef;
            a21+= (valA*PNYi*PNXj + valB*PNYj*PNXi)*coef;
            a23+= (valA*PNYi*PNZj + valB*PNYj*PNZi)*coef;
            a31+= (valA*PNZi*PNXj + valB*PNZj*PNXi)*coef;
            a32+= (valA*PNZi*PNYj + valB*PNZj*PNYi)*coef;
        }
    }
}
```

係数行列：MAT_ASS_MAIN（6/7）

```
a11= 0.0e0; a12= 0.0e0; a13= 0.0e0;
a21= 0.0e0; a22= 0.0e0; a23= 0.0e0;
a31= 0.0e0; a32= 0.0e0; a33= 0.0e0;
```

$$-\int_V \left\{ D\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial N_j}{\partial x} + b\left(\frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \right\} dV =$$

$$-\int\int\int \left\{ D\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial N_j}{\partial x} + b\left(\frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \right\} dxdydz =$$

$$-\int_{-1}^{+1}\int_{-1}^{+1}\int_{-1}^{+1} \left\{ D\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial N_j}{\partial x} + b\left(\frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \right\} \det|J|\, d\xi d\eta d\zeta$$

$$f(\xi,\eta,\zeta)$$

$$I = \int_{-1}^{+1}\int_{-1}^{+1}\int_{-1}^{+1} f(\xi,\eta,\zeta)\, d\xi d\eta d\zeta$$

$$= \sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{N} \left[W_i \cdot W_j \cdot W_k \cdot f(\xi_i,\eta_j,\zeta_k) \right]$$

$$\mathrm{coef} = W_i \cdot W_j \cdot W_k \cdot \det\left| J\left(\xi_i,\eta_j,\zeta_k\right) \right|$$

```
pn][kpn])*WEI[ipn]*WEI[jpn]*WEI[kpn];

][ie];
][ie];
][ie];

][je];
][je];
][je];

a11+= (valX*PNXi*PNXj+valB*(PNYi*PNYj+PNZi*PNZj))*coef;
a22+= (valX*PNYi*PNYj+valB*(PNZi*PNZj+PNXi*PNXj))*coef;
a33+= (valX*PNZi*PNZj+valB*(PNXi*PNXj+PNYi*PNYj))*coef;

a12+= (valA*PNXi*PNYj + valB*PNXj*PNYi)*coef;
a13+= (valA*PNXi*PNZj + valB*PNXj*PNZi)*coef;
a21+= (valA*PNYi*PNXj + valB*PNYj*PNXi)*coef;
a23+= (valA*PNYi*PNZj + valB*PNYj*PNZi)*coef;
a31+= (valA*PNZi*PNXj + valB*PNZj*PNXi)*coef;
a32+= (valA*PNZi*PNYj + valB*PNZj*PNYi)*coef;
```

係数行列：MAT_ASS_MAIN（6/7）

```
for(ipn=0;ipn<2;ipn++){
  for(jpn=0;jpn<2;jpn++){
    for(kpn=0;kpn<2;kpn++){

      coef= -fabs(DETJ[ipn][jpn][kpn])*WEI[ipn]*WEI[jpn]*WEI[kpn];
      PNXi= PNX[ipn][jpn][kpn][ie];
      PNYi= PNY[ipn][jpn][kpn][ie];
      PNZi= PNZ[ipn][jpn][kpn][ie];

      PNXj= PNX[ipn][jpn][kpn][je];
      PNYj= PNY[ipn][jpn][kpn][je];
      PNZj= PNZ[ipn][jpn][kpn][je];

      a11+= (valX*PNXi*PNXj+valB*(PNYi*PNYj+PNZi*PNZj))*coef;
      a22+= (valX*PNYi*PNYj+valB*(PNZi*PNZj+PNXi*PNXj))*coef;
      a33+= (valX*PNZi*PNZj+valB*(PNXi*PNXj+PNYi*PNYj))*coef;

      a12+= (valA*PNXi*PNYj + valB*PNXj*PNYi)*coef;
      a13+= (valA*PNXi*PNZj + valB*PNXj*PNZi)*coef;
      a21+= (valA*PNYi*PNXj + valB*PNYj*PNXi)*coef;
      a23+= (valA*PNYi*PNZj + valB*PNYj*PNZi)*coef;
      a31+= (valA*PNZi*PNXj + valB*PNZj*PNXi)*coef;
      a32+= (valA*PNZi*PNYj + valB*PNZj*PNYi)*coef;
    }
```

$$\begin{Bmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \sigma_z\\ \tau_{xy}\\ \tau_{yz}\\ \tau_{zx}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathrm{valX} & \mathrm{valA} & \mathrm{valA} & 0 & 0 & 0\\ \mathrm{valA} & \mathrm{valX} & \mathrm{valA} & 0 & 0 & 0\\ \mathrm{valA} & \mathrm{valA} & \mathrm{valX} & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \mathrm{valB} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{valB} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{valB}\end{bmatrix} \begin{Bmatrix}\varepsilon_x\\ \varepsilon_y\\ \varepsilon_z\\ \gamma_{xy}\\ \gamma_{yz}\\ \gamma_{zx}\end{Bmatrix}$$

X-方向のつりあい式（3/3）

$$D=\frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)},\quad a=\frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)},\quad b=\frac{E}{2(1+\nu)}$$ とすると

$$\sigma_x = D[N_{,x}]\{U\}+a[N_{,y}]\{V\}+a[N_{,z}]\{W\}$$
$$\tau_{xy} = b[N_{,y}]\{U\}+b[N_{,x}]\{V\}$$
$$\tau_{zx} = b[N_{,z}]\{U\}+b[N_{,x}]\{W\}$$

$$(*)=$$
$$-\int_V \left\{D[N_{,x}]^T[N_{,x}]+b\left([N_{,y}]^T[N_{,y}]+[N_{,z}]^T[N_{,z}]\right)\right\}dV\{U\}$$
$$-\int_V \left\{a[N_{,x}]^T[N_{,y}]+b\left([N_{,y}]^T[N_{,x}]\right)\right\}dV\{V\}-\int_V \left\{a[N_{,x}]^T[N_{,z}]+b[N_{,z}]^T[N_{,x}]\right\}dV\{W\}$$
$$+\int_V [N]^T\{X\}dV=0$$

Y-方向のつりあい式

$$-\int_V \left\{D\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,y}\right]+b\left(\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,z}\right]+\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,x}\right]\right)\right\}dV\{V\}$$

$$-\int_V \left\{a\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,x}\right]+b\left(\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,y}\right]\right)\right\}dV\{U\}-\int_V \left\{a\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,z}\right]+b\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,y}\right]\right\}dV\{W\}$$

$$+\int_V \left[N\right]^T\{Y\}dV=0$$

Z-方向のつりあい式

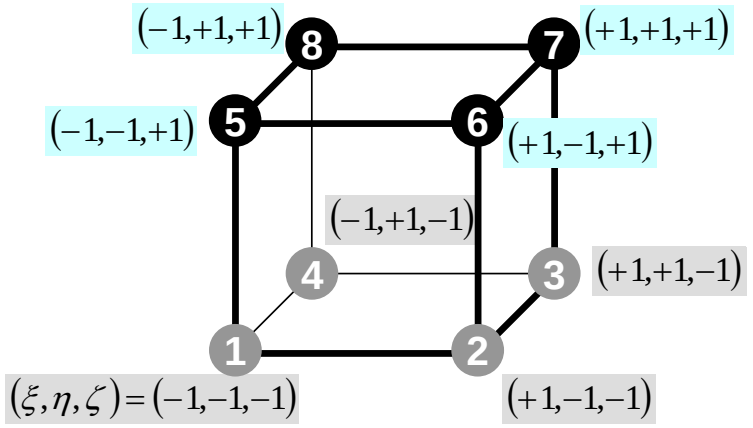
$$-\int_V \left\{D\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,z}\right]+b\left(\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,x}\right]+\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,y}\right]\right)\right\}dV\{W\}$$

$$-\int_V \left\{a\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,x}\right]+b\left(\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,z}\right]\right)\right\}dV\{U\}-\int_V \left\{a\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,y}\right]+b\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,z}\right]\right\}dV\{V\}$$

$$+\int_V \left[N\right]^T\{Z\}dV=0$$

要素マトリクス：*i-j*成分, *X*方向（1/3）

$$\begin{bmatrix} a_{ij_{11}} & a_{ij_{12}} & a_{ij_{13}} \\ a_{ij_{21}} & a_{ij_{22}} & a_{ij_{23}} \\ a_{ij_{31}} & a_{ij_{32}} & a_{ij_{33}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (i, j = 1 \ldots 8)$$



valX=D; valA=a; valB=b

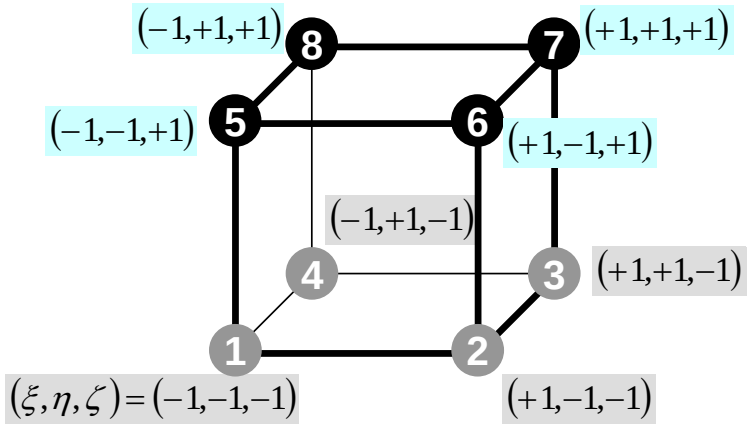
$$a_{ij_{11}} = -\int_V \left\{ \mathrm{valX} \cdot N_{i,x} \cdot N_{j,x} + \mathrm{valB} \cdot \left(N_{i,y} \cdot N_{j,y} + N_{i,z} \cdot N_{j,z} \right) \right\} dV$$

$$a_{ij_{12}} = -\int_V \left\{ \mathrm{valA} \cdot N_{i,x} \cdot N_{j,y} + \mathrm{valB} \cdot N_{i,y} \cdot N_{j,x} \right\} dV$$

$$a_{ij_{13}} = -\int_V \left\{ \mathrm{valA} \cdot N_{i,x} \cdot N_{j,z} + \mathrm{valB} \cdot N_{i,z} \cdot N_{j,x} \right\} dV$$

要素マトリクス：*i-j*成分, *X*方向（1/3）

$$\begin{bmatrix} a_{ij\,11} & a_{ij\,12} & a_{ij\,13} \\ a_{ij\,21} & a_{ij\,22} & a_{ij\,23} \\ a_{ij\,31} & a_{ij\,32} & a_{ij\,33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (i, j = 1 \ldots 8)$$



valX=D; valA=a; valB=b

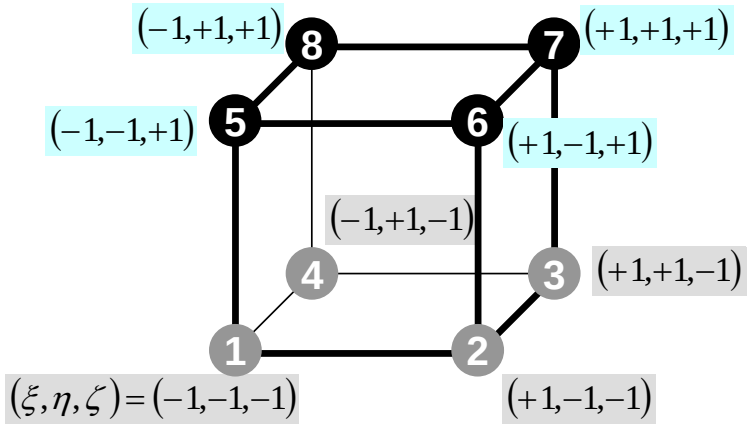
$$-\int_V \left\{ D\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,x}\right] + b\left(\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,y}\right] + \left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,z}\right]\right)\right\} dV \{U\}$$

$$-\int_V \left\{ a\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,y}\right] + b\left(\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,x}\right]\right)\right\} dV \{V\}$$

$$-\int_V \left\{ a\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,z}\right] + b\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,x}\right]\right\} dV \{W\}$$

要素マトリクス：*i-j*成分, *Y*方向（2/3）

$$\begin{bmatrix} a_{ij\,11} & a_{ij\,12} & a_{ij\,13} \\ a_{ij\,21} & a_{ij\,22} & a_{ij\,23} \\ a_{ij\,31} & a_{ij\,32} & a_{ij\,33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (i, j = 1 \ldots 8)$$



valX=D; valA=a; valB=b

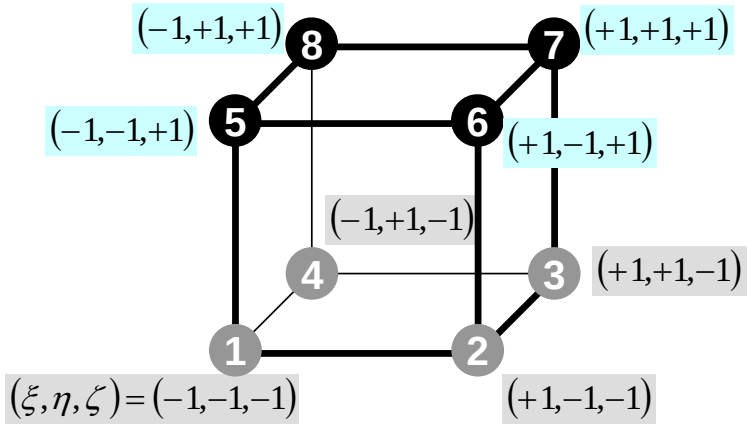
$$a_{ij\,21} = -\int_V \left\{ \mathrm{valA} \cdot N_{i,y} \cdot N_{j,x} + \mathrm{valB} \cdot N_{i,x} \cdot N_{j,y} \right\} dV$$

$$a_{ij\,22} = -\int_V \left\{ \mathrm{valX} \cdot N_{i,y} \cdot N_{j,y} + \mathrm{valB} \cdot \left(N_{i,z} \cdot N_{j,z} + N_{i,x} \cdot N_{j,x} \right) \right\} dV$$

$$a_{ij\,23} = -\int_V \left\{ \mathrm{valA} \cdot N_{i,y} \cdot N_{j,z} + \mathrm{valB} \cdot N_{i,z} \cdot N_{j,y} \right\} dV$$

要素マトリクス：*i-j*成分, *Y*方向（2/3）

$$\begin{bmatrix} a_{ij\,11} & a_{ij\,12} & a_{ij\,13} \\ a_{ij\,21} & a_{ij\,22} & a_{ij\,23} \\ a_{ij\,31} & a_{ij\,32} & a_{ij\,33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (i, j = 1 \ldots 8)$$



valX=D; valA=a; valB=b

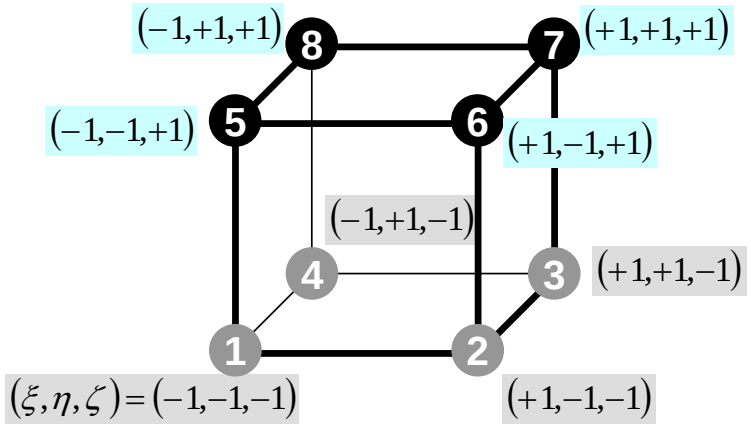
$$-\int_V \left\{ a\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,x}\right] + b\left(\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,y}\right]\right)\right\} dV \{U\}$$

$$-\int_V \left\{ D\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,y}\right] + b\left(\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,z}\right] + \left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,x}\right]\right)\right\} dV \{V\}$$

$$-\int_V \left\{ a\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,z}\right] + b\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,y}\right]\right\} dV \{W\}$$

要素マトリクス：*i-j*成分, Z方向（3/3）

$$\begin{bmatrix} a_{ij\,11} & a_{ij\,12} & a_{ij\,13} \\ a_{ij\,21} & a_{ij\,22} & a_{ij\,23} \\ a_{ij\,31} & a_{ij\,32} & a_{ij\,33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (i, j = 1 \ldots 8)$$



valX=D; valA=a; valB=b

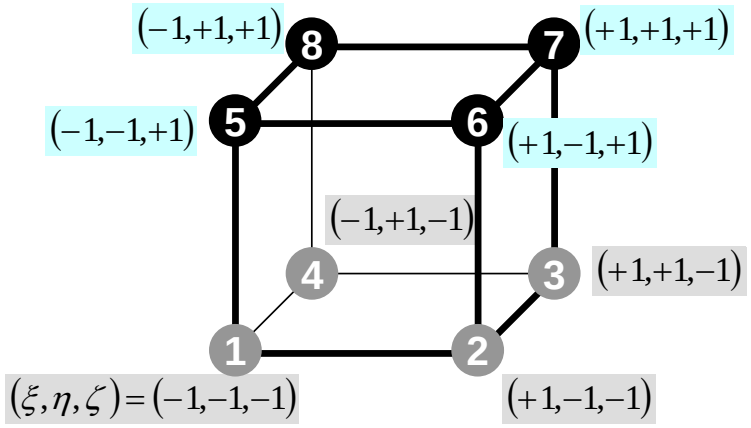
$$a_{ij\,31} = -\int_V \left\{ \mathrm{valA} \cdot N_{i,z} \cdot N_{j,x} + \mathrm{valB} \cdot N_{i,x} \cdot N_{j,z} \right\} dV$$

$$a_{ij\,32} = -\int_V \left\{ \mathrm{valA} \cdot N_{i,z} \cdot N_{j,y} + \mathrm{valB} \cdot N_{i,y} \cdot N_{j,z} \right\} dV$$

$$a_{ij\,33} = -\int_V \left\{ \mathrm{valD} \cdot N_{i,z} \cdot N_{j,z} + \mathrm{valB} \cdot \left(N_{i,x} \cdot N_{j,x} + N_{i,y} \cdot N_{j,y} \right) \right\} dV$$

要素マトリクス：*i-j*成分, Z方向（3/3）

$$\begin{bmatrix} a_{ij\,11} & a_{ij\,12} & a_{ij\,13} \\ a_{ij\,21} & a_{ij\,22} & a_{ij\,23} \\ a_{ij\,31} & a_{ij\,32} & a_{ij\,33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (i, j = 1 \ldots 8)$$



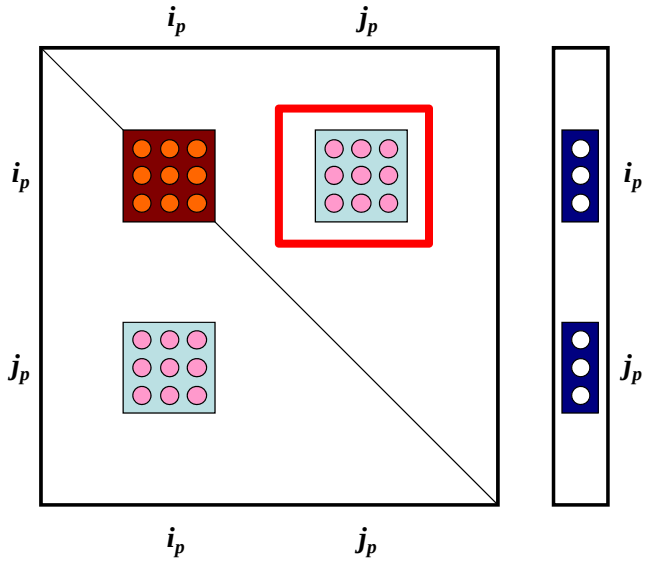
valX=D; valA=a; valB=b

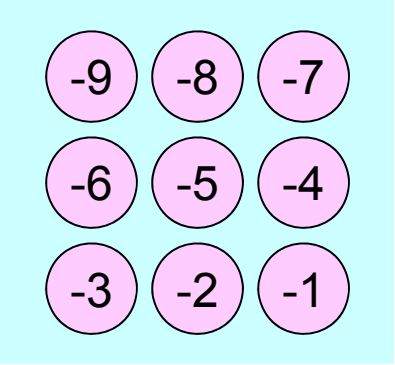
$$-\int_V \left\{ a\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,x}\right] + b\left(\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,z}\right]\right)\right\} dV \{U\}$$

$$-\int_V \left\{ a\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,y}\right] + b\left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,z}\right]\right\} dV \{V\}$$

$$-\int_V \left\{ D\left[N_{,z}\right]^T\left[N_{,z}\right] + b\left(\left[N_{,x}\right]^T\left[N_{,x}\right] + \left[N_{,y}\right]^T\left[N_{,y}\right]\right)\right\} dV \{W\}$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（7/7）





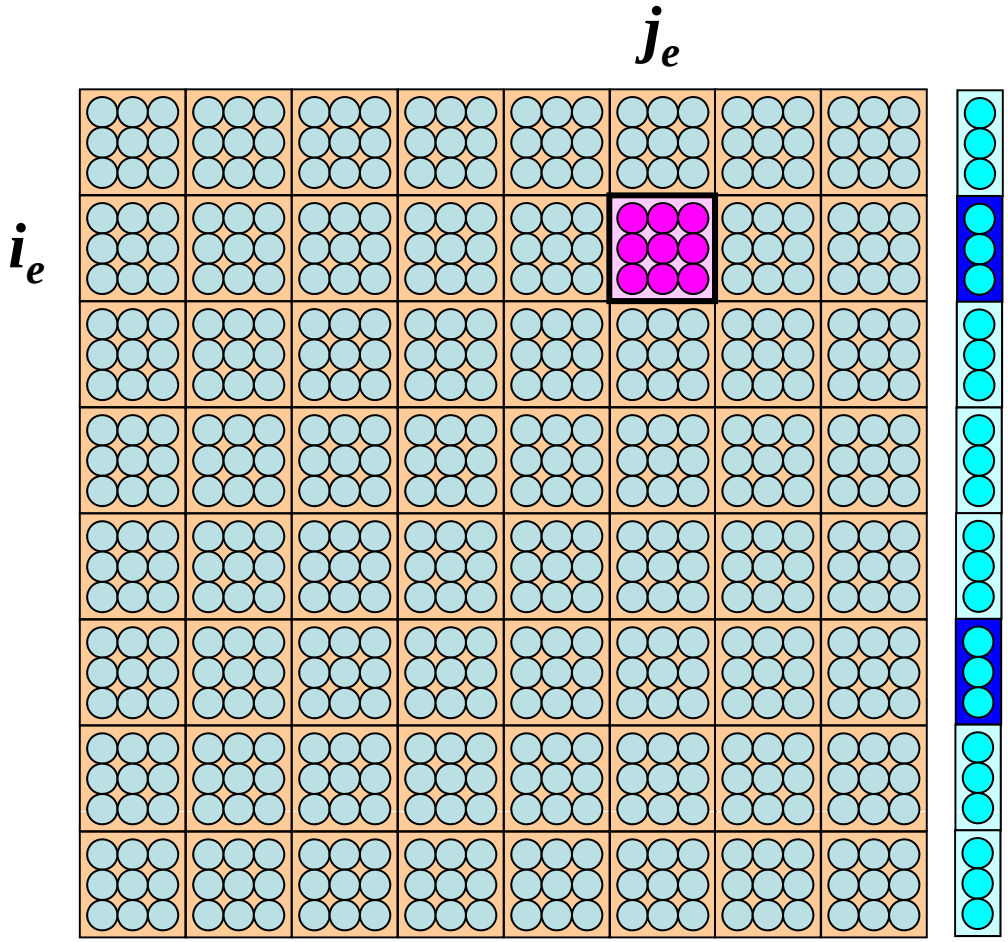

```
for(icel=0;icel<ICELTOT;icel++){
     for(ie=0;ie<8;ie++){
          ip=nodLOCAL[ie];
               for(je=0;je<8;je++){
                  jp=nodLOCAL[je];
...
                              if (jp > ip) {  AU[9*kk-9]+=a11;
                                              AU[9*kk-8]+=a12;
                                              AU[9*kk-7]+=a13;
                                              AU[9*kk-6]+=a21;
                                              AU[9*kk-5]+=a22;
                                              AU[9*kk-4]+=a23;
                                              AU[9*kk-3]+=a31;
                                              AU[9*kk-2]+=a32;
                                              AU[9*kk-1]+=a33;}

                              if (jp < ip) {  AL[9*kk-9]+=a11;
                                              AL[9*kk-8]+=a12;
                                              AL[9*kk-7]+=a13;
                                              AL[9*kk-6]+=a21;
                                              AL[9*kk-5]+=a22;
                                              AL[9*kk-4]+=a23;
                                              AL[9*kk-3]+=a31;
                                              AL[9*kk-2]+=a32;
                                              AL[9*kk-1]+=a33;}
...
               }
     }
}
```

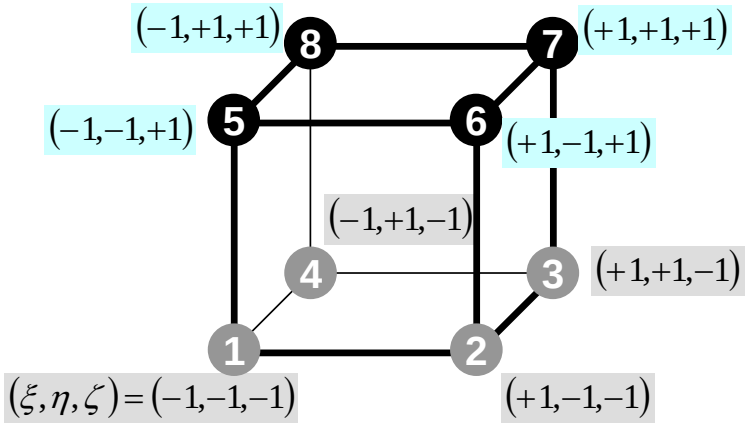
要素マトリクス（i_e~j_e）
全体マトリクス（i_p~j_p）の関係

kk：itemU，itemLにおけるアドレスに1を足した値（1から始まる）

要素マトリクス：24×24行列

各節点上の（u,v,w）成分が物理的にも強くカップルしているので3自由度をまとめて扱う：8×8行列





$$\begin{bmatrix} a_{i_e j_e 11} & a_{i_e j_e 12} & a_{i_e j_e 13} \\ a_{i_e j_e 21} & a_{i_e j_e 22} & a_{i_e j_e 23} \\ a_{i_e j_e 31} & a_{i_e j_e 32} & a_{i_e j_e 33} \end{bmatrix} (i_e, j_e = 1 \ldots 8)$$

係数行列：MAT_ASS_MAIN（7/7）

```
for(icel=0;icel<ICELTOT;icel++){

    for(ie=0;ie<8;ie++){
        ip=nodLOCAL[ie];

          for(je=0;je<8;je++){
            jp=nodLOCAL[je];
...
                      if (jp > ip) {  AU[9*kk-9]+=a11;
                                      AU[9*kk-8]+=a12;
                                      AU[9*kk-7]+=a13;
                                      AU[9*kk-6]+=a21;
                                      AU[9*kk-5]+=a22;
                                      AU[9*kk-4]+=a23;
                                      AU[9*kk-3]+=a31;
                                      AU[9*kk-2]+=a32;
                                      AU[9*kk-1]+=a33;}

                      if (jp < ip) {  AL[9*kk-9]+=a11;
                                      AL[9*kk-8]+=a12;
                                      AL[9*kk-7]+=a13;
                                      AL[9*kk-6]+=a21;
                                      AL[9*kk-5]+=a22;
                                      AL[9*kk-4]+=a23;
                                      AL[9*kk-3]+=a31;
                                      AL[9*kk-2]+=a32;
                                      AL[9*kk-1]+=a33;}

                      if (jp == ip) { D[9*ip-9]+=a11;
                                      D[9*ip-8]+=a12;
                                      D[9*ip-7]+=a13;
                                      D[9*ip-6]+=a21;
                                      D[9*ip-5]+=a22;
                                      D[9*ip-4]+=a23;
                                      D[9*ip-3]+=a31;
                                      D[9*ip-2]+=a32;
                                      D[9*ip-1]+=a33; }
...
          }
    }
}
```

MAT_ASS_BC：全体構成

```
do i= 1, N      節点ループ
   （ディリクレ）境界条件を設定する節点をマーク（IWKX）
enddo
```

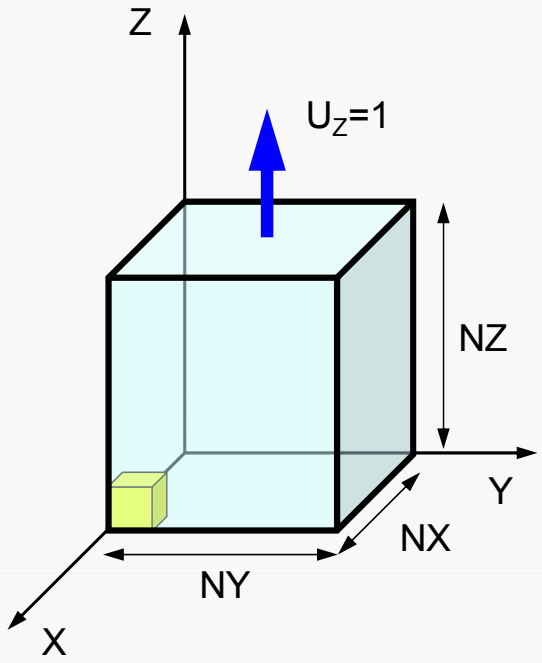
```
do i= 1, N  節点ループ
  if (IWKX(i,1).eq.1) then  マークされた節点だったら
    対応する右辺ベクトル（B）の成分，対角ブロック（D）の成分の修正（行・列）
    do k= indexL(i-1)+1, indexL(i)  下三角ブロック
      対応する非対角（下三角）ブロック（AL）の成分の修正（行）
    enddo
    do k= indexU(i-1)+1, indexU(i)  上三角ブロック
      対応する非対角（上三角）ブロック（AU）の成分の修正（行）
    enddo
  endif
enddo

do i= 1, N  節点ループ
  do k= indexL(i-1)+1, indexL(i)      下三角ブロック
    if (IWKX(itemL(k),1).eq.1) then  対応する非対角ブロックの節点がマークされていたら
      対応する右辺ベクトル，非対角（下三角）ブロック（AL）の成分の修正（列）
    endif
  enddo
  do k= indexU(i-1)+1, indexU(i)      上三角ブロック
    if (IWKX(itemU(k),1).eq.1) then  対応する非対角ブロックの節点がマークされていたら
      対応する右辺ベクトル，非対角（上三角）ブロック（AU）の成分の修正（列）
    endif
  enddo
enddo
```

境界条件：MAT_ASS_BC（1/9）

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "pfem_util.h"
#include "allocate.h"
extern FILE *fp_log;
void MAT_ASS_BC()
{
            int i,j,k,in,ib,ib0,icel;
            int in1,in2,in3,in4,in5,in6,in7,in8;
            int iq1,iq2,iq3,iq4,iq5,iq6,iq7,iq8;
            int iS,iE;
            double STRESS,VAL;

            IWKX=(KINT**) allocate_matrix(sizeof(KINT),N,2);
            for(i=0;i<N;i++) for(j=0;j<2;j++) IWKX[i][j]=0;
```

境界条件：MAT_ASS_BC（2/9）

```
/**
        Z=Zmax
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmax") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - D[9*in+2]*1.e0;
                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - D[9*in+5]*1.e0;
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 1.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                } }
```



境界条件：MAT_ASS_BC（2/9）

```
/**
        Z=Zmax
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmax") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - D[9*in+2]*
                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - D[9*in+5]*
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 1.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                } }
```

節点グループ名が「Zmax」である節点において：

IWKX[in-1][0]= 1

とする

in：1から始まる節点番号

境界条件：MAT_ASS_BC（2/9）

```
/**
        Z=Zmax
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmax") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - D[9*in+2]*1.
                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - D[9*in+5]*1.
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 1.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                } }
```

節点グループ名が「Zmax」である節点では，Z方向変位成分=1にすなわち：

B[3*in+2]= 1.0 (in= 0~N-1)

FORTRANでは

B[3*in-2]= 1.0 (in= 1, N)

境界条件：MAT_ASS_BC（3/9）

```
        for(in=0;in<N;in++){
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                    if (IWKX[itemL[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                                B[3*in  ]= B[3*in  ] - AL[9*k-7]*1.e0;
                                                B[3*in+1]= B[3*in+1] - AL[9*k-4]*1.e0;
                                                B[3*in+2]= B[3*in+2] - AL[9*k-1]*1.e0;
                                                AL[9*k-7]= 0.e0;
                                                AL[9*k-4]= 0.e0;
                                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                                    }
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];

                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                    if (IWKX[itemU[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                                B[3*in  ]= B[3*in  ] - AU[9*k-7]*1.e0;
                                                B[3*in+1]= B[3*in+1] - AU[9*k-4]*1.e0;
                                                B[3*in+2]= B[3*in+2] - AU[9*k-1]*1.e0;
                                                AU[9*k-7]= 0.e0;
                                                AU[9*k-4]= 0.e0;
                                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                                    }
                        }
            }
```

一次元

x=0で成立する方程式

u_1=0

- x方向にのみ自由度（変位u）
  - 一様な：断面積A，ヤング率E
  - 境界条件
    - x=0　　：u=0（固定）
    - x=x_{max}：大きさFの力（軸力）
- 自重によるたわみ等はナシ：バネと同じ

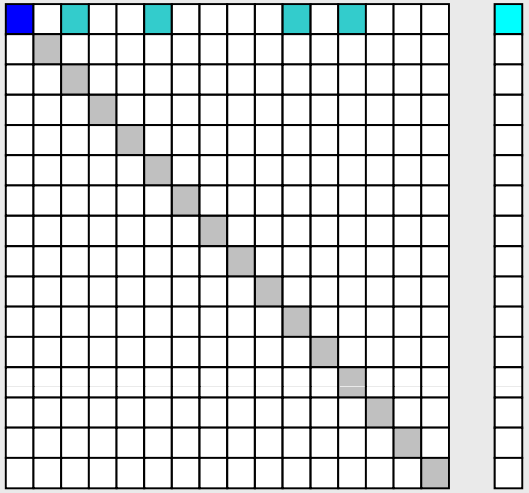
一次元

プログラム：1d.c（6/7）

境界条件

```
/*
// +--------------------+
// | BOUNDARY conditions |
// +--------------------+
*/

/* X=Xmin */
        i=0;
        jS= Index[i];
        AMat[jS]= 0.0;
        Diag[i ]= 1.0;
        Rhs [i ]= 0.0;

          for(k=0;k<NPLU;k++){
            if(Item[k]==0){AMat[k]=0.0;
            }}

/* X=Xmax */
        i=N-1;
        Rhs[i]= F;
```

$u_1=0$
対角成分=1，右辺=0，非対角成分=0



一次元

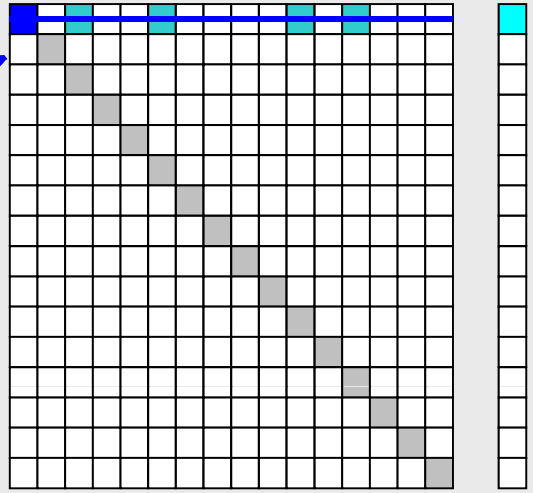
プログラム：1d.c（6/7）

境界条件

```
/*
// +---------------------+
// | BOUNDARY conditions |
// +---------------------+
*/

/* X=Xmin */
        i=0;
        jS= Index[i];
        AMat[jS]= 0.0;
        Diag[i ]= 1.0;
        Rhs [i ]= 0.0;

          for(k=0;k<NPLU;k++){
            if(Item[k]==0){AMat[k]=0.0;
            }}

/* X=Xmax */
        i=N-1;
        Rhs[i]= F;
```

$u_1=0$
対角成分=1，右辺=0，非対角成分=0

ゼロクリア



一次元

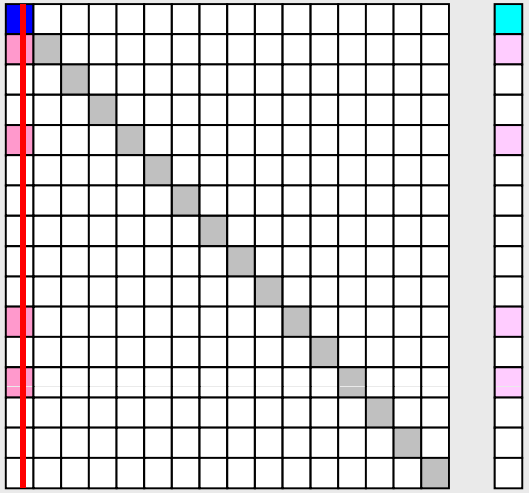
プログラム：1d.c（6/7）

境界条件

```
/*
// +--------------------+
// | BOUNDARY conditions |
// +--------------------+
*/

/* X=Xmin */
        i=0;
        jS= Index[i];
        AMat[jS]= 0.0;
        Diag[i ]= 1.0;
        Rhs [i ]= 0.0;
          for(k=0;k<NPLU;k++){
            if(Item[k]==0){AMat[k]=0.0;
            }}

/* X=Xmax */
        i=N-1;
        Rhs[i]= F;
```

u_1=0
対角成分=1，右辺=0，非対角成分=0

消去，ゼロクリア



行列の対称性を保つため，第一種境界条件を適用している節点に対応する「列」を，右辺に移項して消去する（今の場合は非対角成分を0にするだけで良い）

一次元

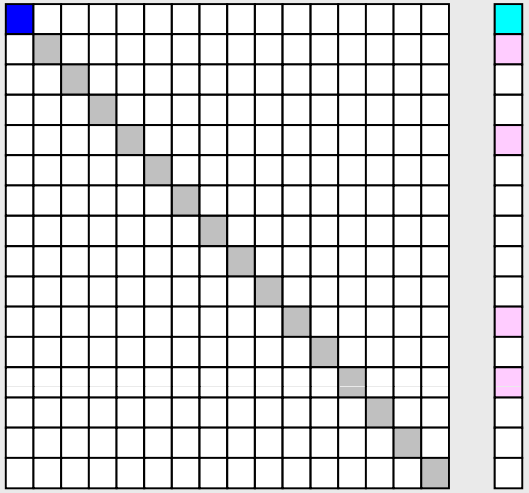
プログラム：1d.c（6/7）

境界条件

```
/*
// +--------------------+
// | BOUNDARY conditions |
// +--------------------+
*/

/* X=Xmin */
        i=0;
        jS= Index[i];
        AMat[jS]= 0.0;
        Diag[i ]= 1.0;
        Rhs [i ]= 0.0;

          for(k=0;k<NPLU;k++){
            if(Item[k]==0){AMat[k]=0.0;
            }}
/* X=Xmax */
        i=N-1;
        Rhs[i]= F;
```

$u_1=0$
対角成分=1，右辺=0，非対角成分=0

消去，ゼロクリア



行列の対称性を保つため，第一種境界条件を適用している節点に対応する「列」を，右辺に移項して消去する（今の場合は非対角成分を0にするだけで良い）

一次元

第一種境界条件がu≠0の場合

```
/*
// +--------------------+
// | BOUNDARY conditions |
// +--------------------+
*/

/* X=Xmin */
        i=0;
        jS= Index[i];
        AMat[jS]= 0.0;
        Diag[i ]= 1.0;
        Rhs [i ]= Umin;

          for(j=1;i<N;i++){
            for (k=Index[j];k<Index[j+1];k++){
              if(Item[k]==0){
                Rhs [j]= Rhs[j] - Amat[k]*Umin;
                AMat[k]= 0.0;
            }}
```

行列の対称性を保つため，第一種境界条件を適用している節点に対応する「列」を，右辺に移項して消去する

$$Diag_j u_j + \sum_{k=Index[j]}^{Index[j-1]} Amat_k \; u_{Item[k]} = Rhs_j$$

一次元

第一種境界条件がu≠0の場合

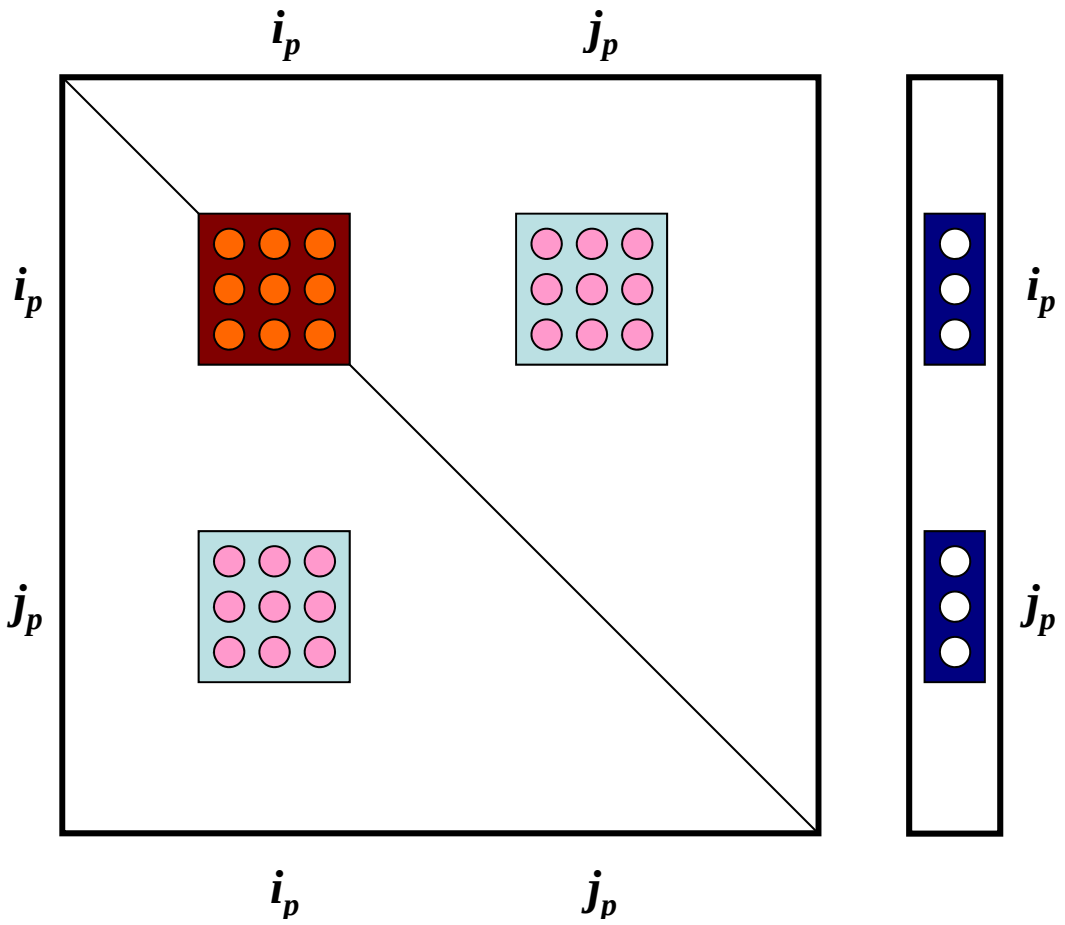
```
/*
// +--------------------+
// | BOUNDARY conditions |
// +--------------------+
*/

/* X=Xmin */
        i=0;
        jS= Index[i];
        AMat[jS]= 0.0;
        Diag[i ]= 1.0;
        Rhs [i ]= Umin;

          for(j=1;i<N;i++){
            for (k=Index[j];k<Index[j+1];k++){
              if(Item[k]==0){
                Rhs [j]= Rhs[j] - Amat[k]*Umin;
                AMat[k]= 0.0;
            }}
```

行列の対称性を保つため，第一種境界条件を適用している節点に対応する「列」を，右辺に移項して消去する

$$Diag_j u_j + \sum_{k=Index[j],k\neq k_s}^{Index[j-1]} Amat_k\, u_{Item[k]}$$

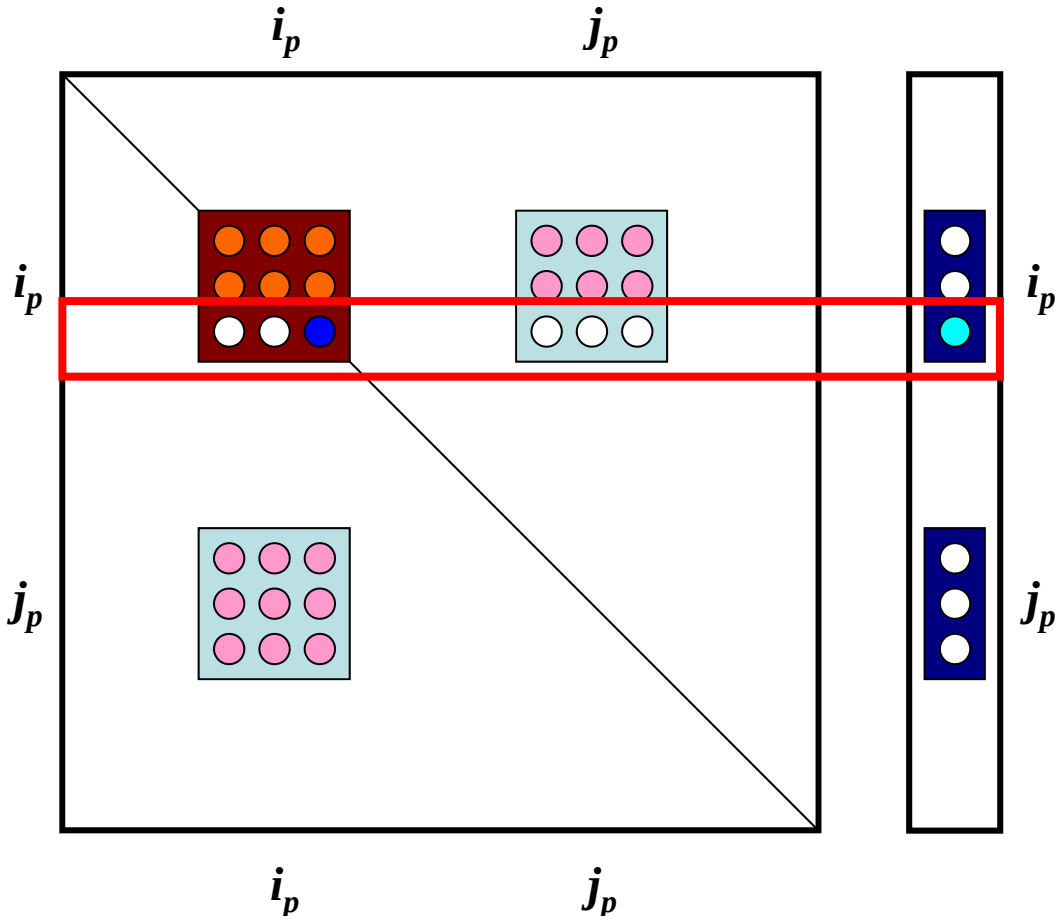
$$= Rhs_j - Amat_{k_s} u_{Item[k_s]} = Rhs_j - Amat_{k_s} u_{\min} \quad where\ Item[k_s] = 0$$

全体マトリクス



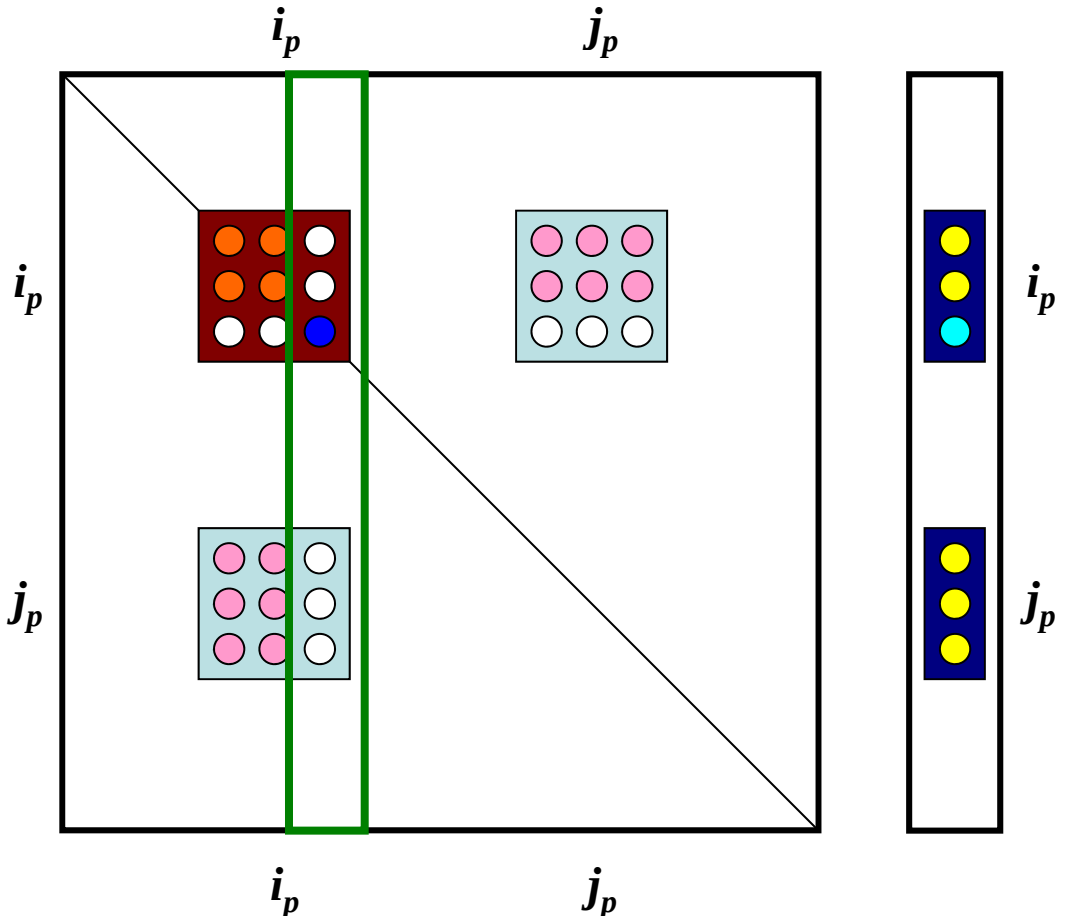
同じことをやればよい

自分の「行」：対角成分=1，それ以外=0



同じことをやればよい

自分の「列」：右辺へ移項，非対角成分=0



境界条件：MAT_ASS_BC（2/9）

```
/**
        Z=Zmax
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmax") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - D[9*in+2]*
                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - D[9*in+5]*
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 1.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                }  }
```

節点グループ名が「Zmax」である節点において：

IWKX[in-1][0]= 1

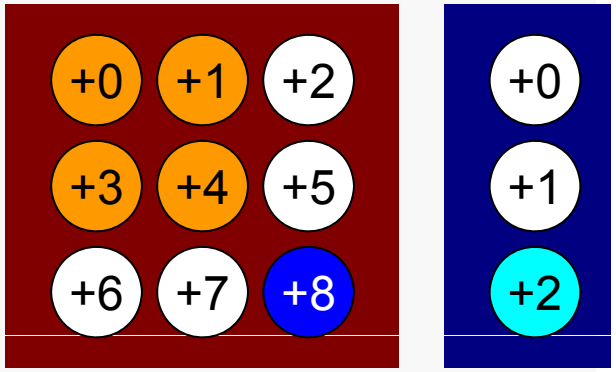
とする

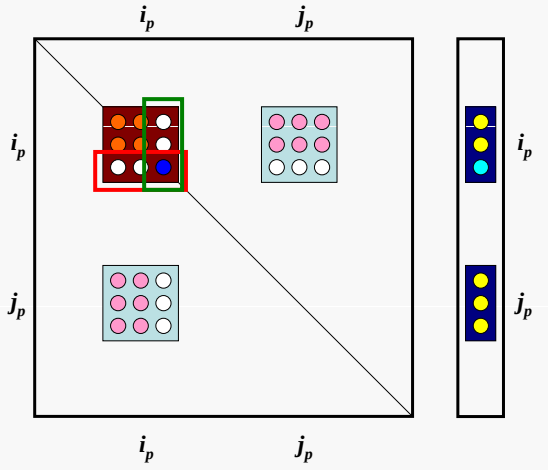
in：1から始まる節点番号

境界条件：MAT_ASS_BC（2/9）

```
/**
        Z=Zmax
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmax") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - D[9*in+2]*1.e0;
                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - D[9*in+5]*1.e0;
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 1.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                } }
```

B[3*in], B[3*in+1]を変更してからD[9*in+6], D[9*in+7]をゼロクリア

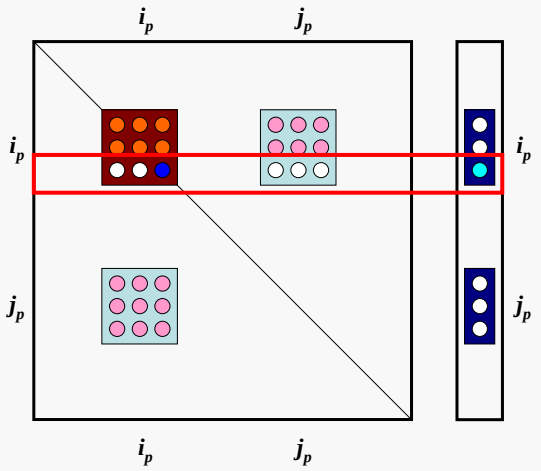


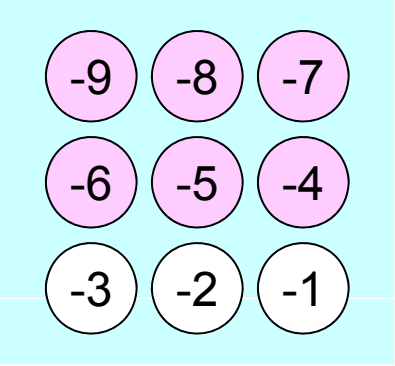


境界条件：MAT_ASS_BC（2/9）

```
/**
        Z=Zmax
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmax") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - D[9*in+2]*1.e0;
                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - D[9*in+5]*1.e0;
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 1.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                } }
```

“k” starts from “1”



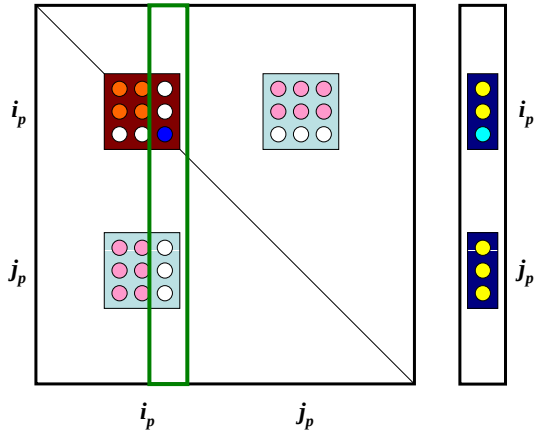


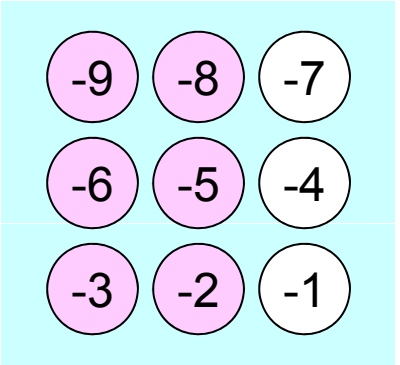
境界条件：MAT_ASS_BC（3/9）

```
        for(in=0;in<N;in++){
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                if (IWKX[itemL[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - AL[9*k-7]*1.e0;
                                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - AL[9*k-4]*1.e0;
                                        B[3*in+2]= B[3*in+2] - AL[9*k-1]*1.e0;
                                        AL[9*k-7]= 0.e0;
                                        AL[9*k-4]= 0.e0;
                                        AL[9*k-1]= 0.e0;
                                }
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];

                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                if (IWKX[itemU[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                        B[3*in  ]= B[3*in  ] - AU[9*k-7]*1.e0;
                                        B[3*in+1]= B[3*in+1] - AU[9*k-4]*1.e0;
                                        B[3*in+2]= B[3*in+2] - AU[9*k-1]*1.e0;
                                        AU[9*k-7]= 0.e0;
                                        AU[9*k-4]= 0.e0;
                                        AU[9*k-1]= 0.e0;
                                }
                        }
                }
```

“k” starts from “1”

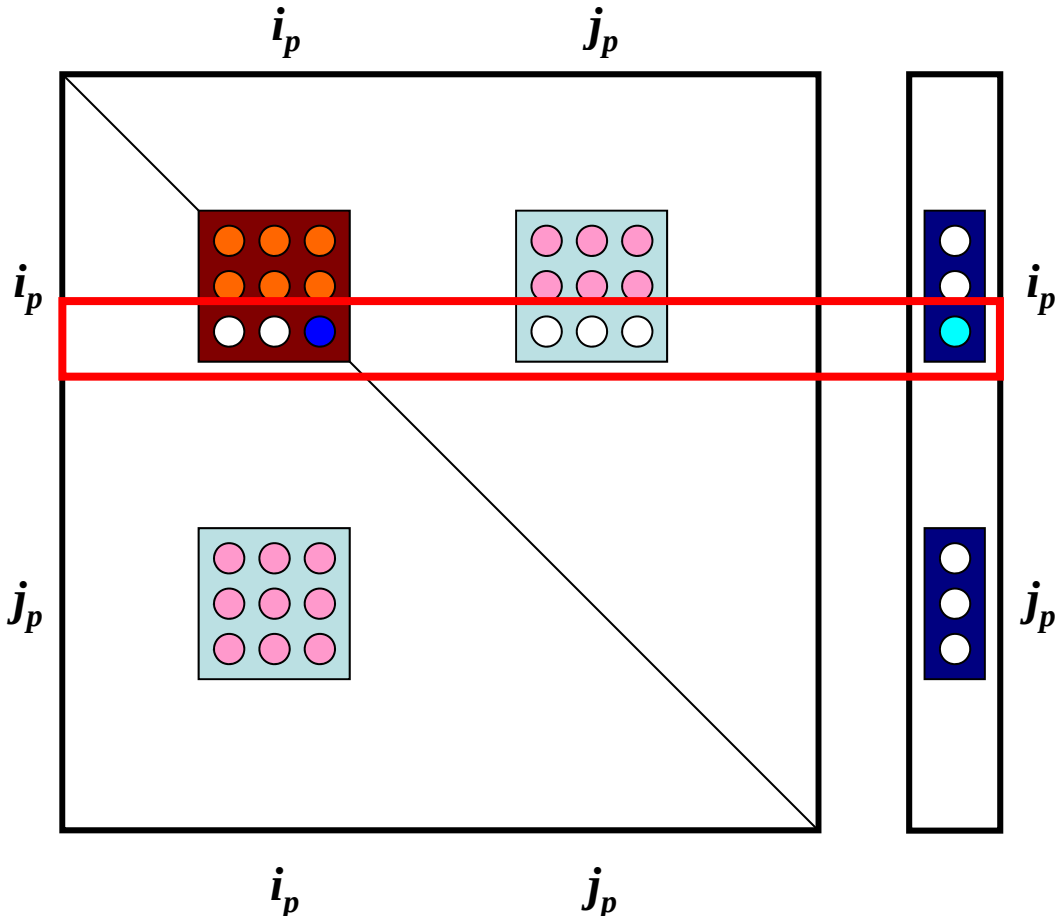
右辺を変更してから
ゼロクリア





w=0@Zmin

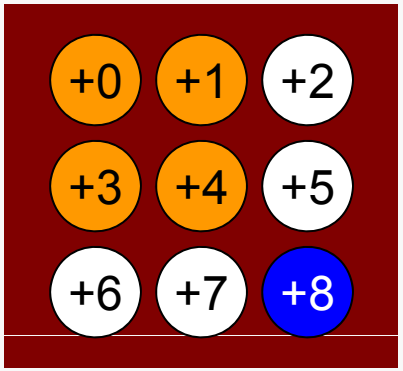
自分の「行」：対角成分=1，それ以外=0



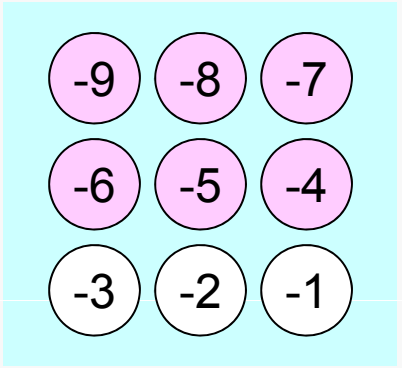
境界条件：MAT_ASS_BC（4/9）

```
/**
        Z=Zmin
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Zmin") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+8]= 1.e0;
                        B[3*in+2]= 0.e0;
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-3]= 0.e0;
                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-3]= 0.e0;
                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                }
        }
```

w=0@Zmin

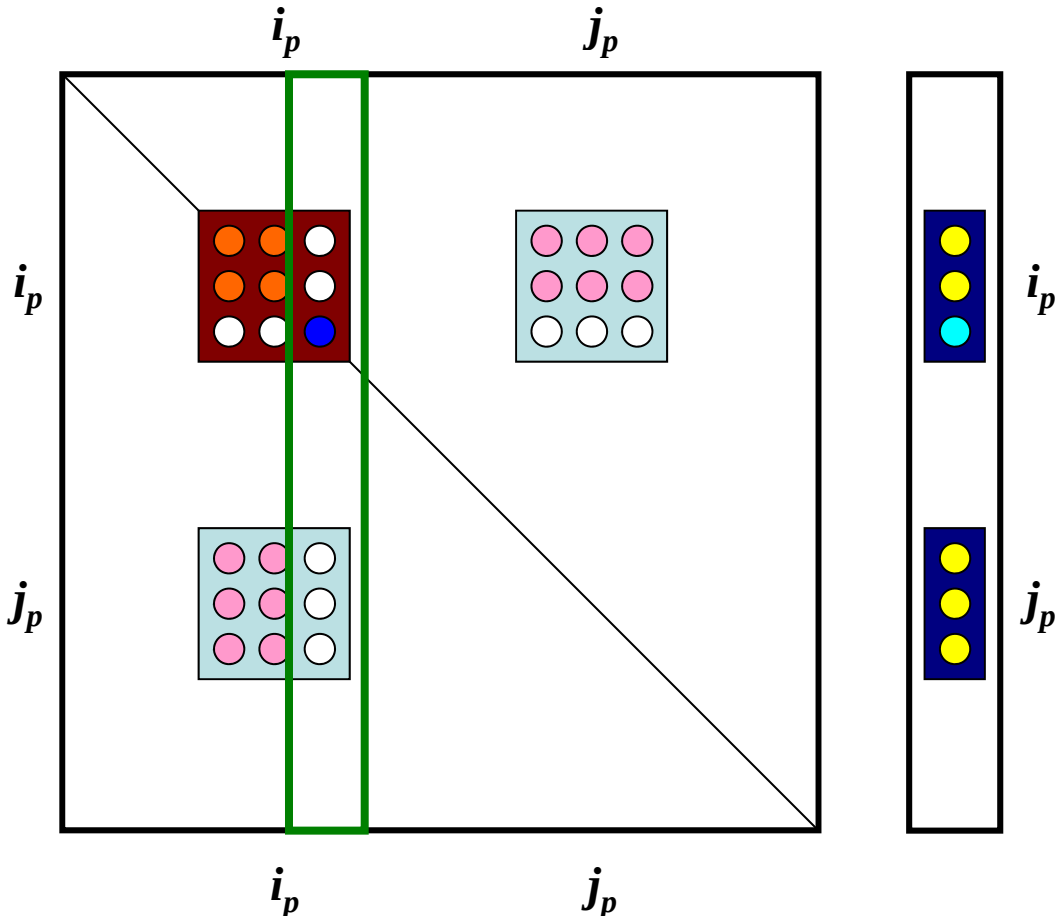


“k” starts from “1”



w=0@Zmin

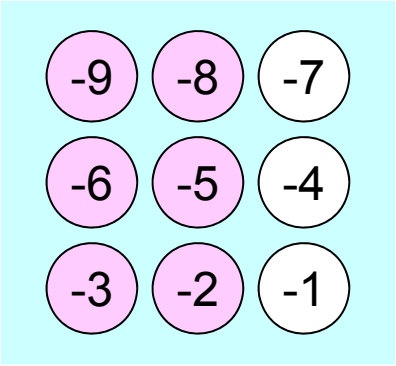
自分の「列」：右辺へ移項，非対角成分=0



境界条件：MAT_ASS_BC（5/9）

```
for(in=0;in<N;in++){
                iS= indexL[in]+1;
                iE= indexL[in+1];
                for(k=iS;k<=iE;k++){
                        if (IWKX[itemL[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                AL[9*k-7]= 0.e0;
                                AL[9*k-4]= 0.e0;
                                AL[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                }
                iS= indexU[in]+1;
                iE= indexU[in+1];

                for(k=iS;k<=iE;k++){
                        if (IWKX[itemU[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                AU[9*k-7]= 0.e0;
                                AU[9*k-4]= 0.e0;
                                AU[9*k-1]= 0.e0;
                        }
                }
}
```

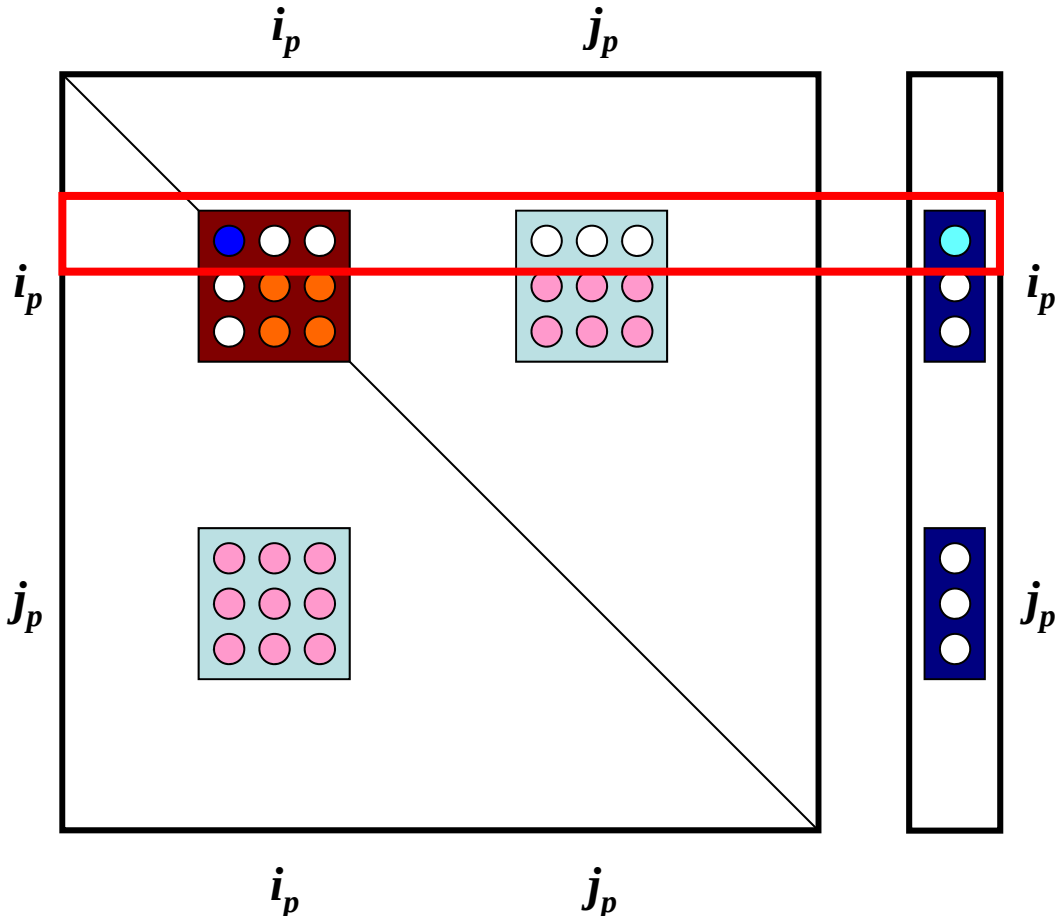
w=0@Zmin



“k” starts from “1”

u=0@Xmin

自分の「行」：対角成分=1，それ以外=0

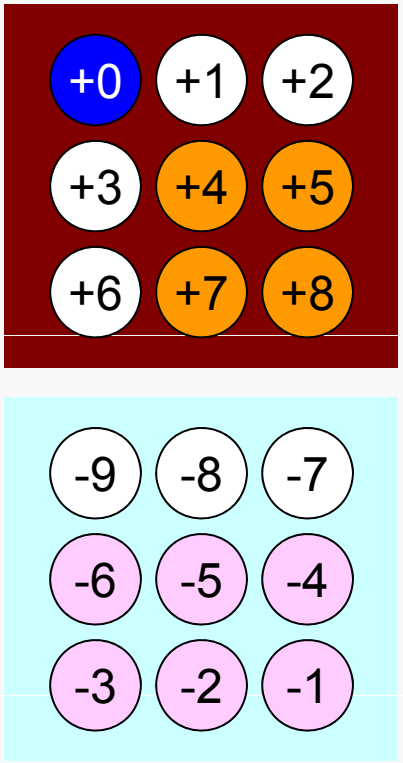


境界条件：MAT_ASS_BC（6/9）

u=0@Xmin

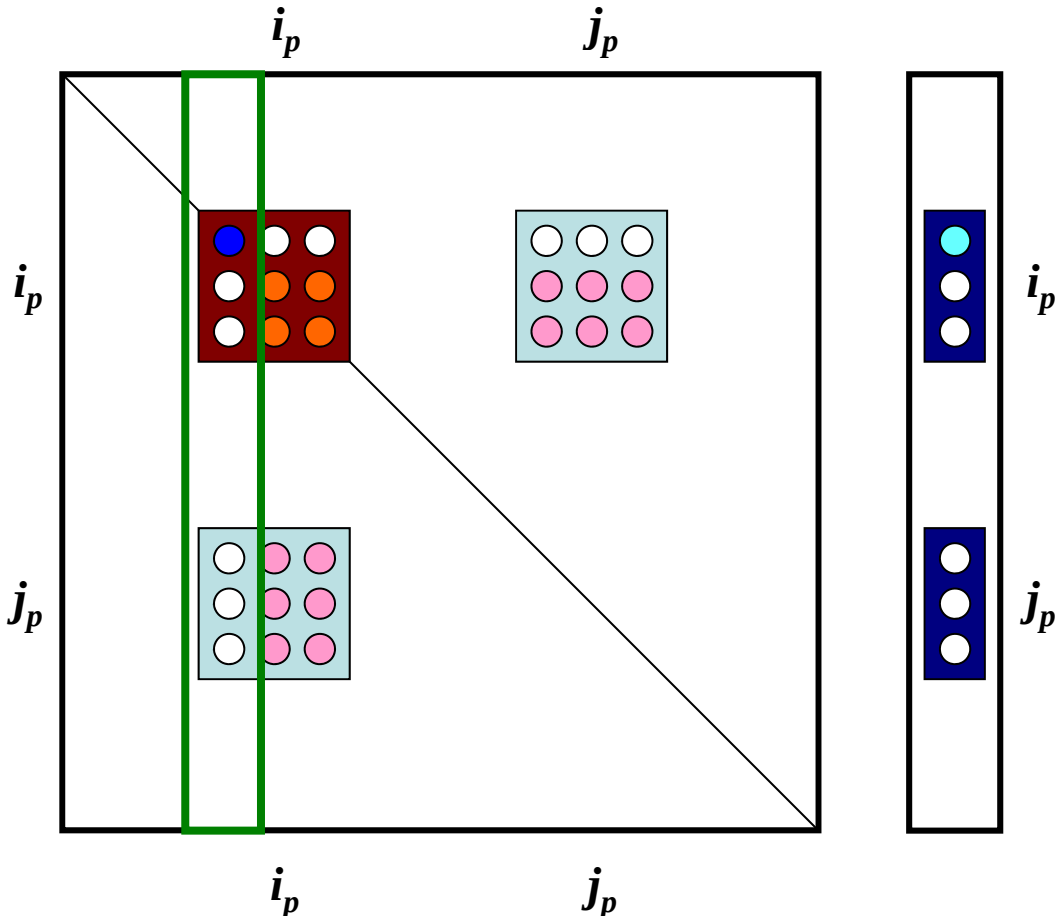
```
/**
        X=Xmin
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Xmin") == 0 ) break;
        }

        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        D[9*in  ]= 1.e0;
                        D[9*in+1]= 0.e0;
                        D[9*in+2]= 0.e0;
                        D[9*in+3]= 0.e0;
                        D[9*in+6]= 0.e0;
                        B[3*in  ]= 0.e0;

                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-9]= 0.e0;
                                AL[9*k-8]= 0.e0;
                                AL[9*k-7]= 0.e0;
                        }

                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-9]= 0.e0;
                                AU[9*k-8]= 0.e0;
                                AU[9*k-7]= 0.e0;
                        }
                } }
```

“k” starts from “1”



u=0@Xmin

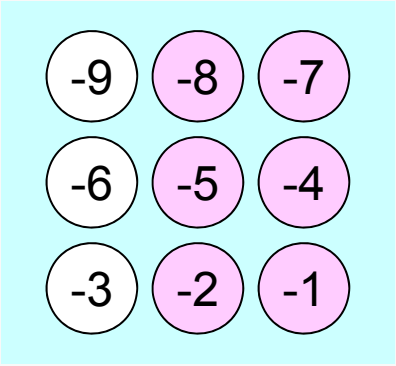
自分の「列」：右辺へ移項，非対角成分=0



境界条件：MAT_ASS_BC（7/9）

```
        for(in=0;in<N;in++){
                    iS= indexL[in]+1;
                    iE= indexL[in+1];
                    for(k=iS;k<=iE;k++){
                                if (IWKX[itemL[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                            AL[9*k-9]= 0.e0;
                                            AL[9*k-6]= 0.e0;
                                            AL[9*k-3]= 0.e0;
                                }
                    }

                    iS= indexU[in]+1;
                    iE= indexU[in+1];
                    for(k=iS;k<=iE;k++){
                                if (IWKX[itemU[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                            AU[9*k-9]= 0.e0;
                                            AU[9*k-6]= 0.e0;
                                            AU[9*k-3]= 0.e0;
                                }
                    }
        }
```

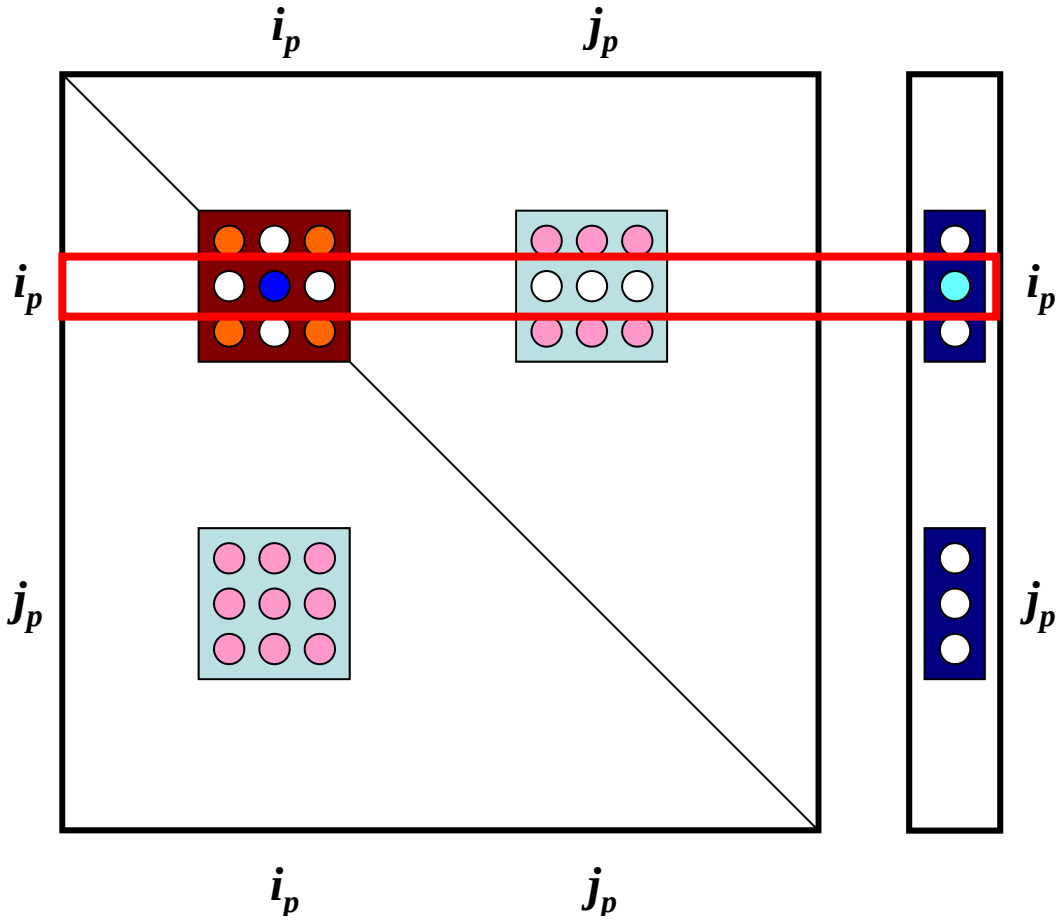
u=0@Xmin



“k” starts from “1”

v=0@Ymin

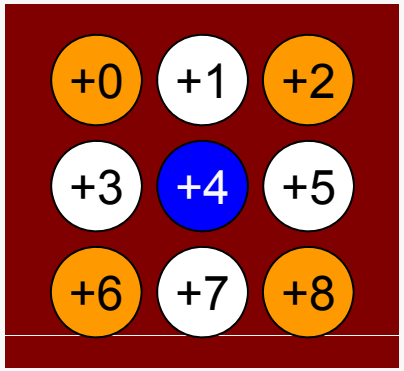
自分の「行」：対角成分=1，それ以外=0

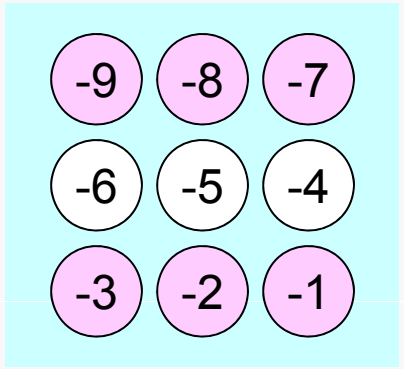


境界条件：MAT_ASS_BC（8/9）

v=0@Ymin

```
/**
        Y=Ymin
**/
        for(in=0;in<N;in++) IWKX[in][0]=0;

        ib0=-1;

        for( ib0=0;ib0<NODGRPtot;ib0++){
                if( strcmp(NODGRP_NAME[ib0].name,"Ymin") == 0 ) break;
        }


        for( ib=NODGRP_INDEX[ib0];ib<NODGRP_INDEX[ib0+1];ib++){
                in=NODGRP_ITEM[ib];
                IWKX[in-1][0]=1;
        }

        for(in=0;in<N;in++){
                if( IWKX[in][0] == 1 ){
                        D[9*in+1]= 0.e0;
                        D[9*in+4]= 1.e0;
                        D[9*in+7]= 0.e0;
                        D[9*in+3]= 0.e0;
                        D[9*in+5]= 0.e0;
                        B[3*in+1]= 0.e0;

                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AL[9*k-6]= 0.e0;
                                AL[9*k-5]= 0.e0;
                                AL[9*k-4]= 0.e0;
                        }

                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                AU[9*k-6]= 0.e0;
                                AU[9*k-5]= 0.e0;
                                AU[9*k-4]= 0.e0;
                        } } }
```

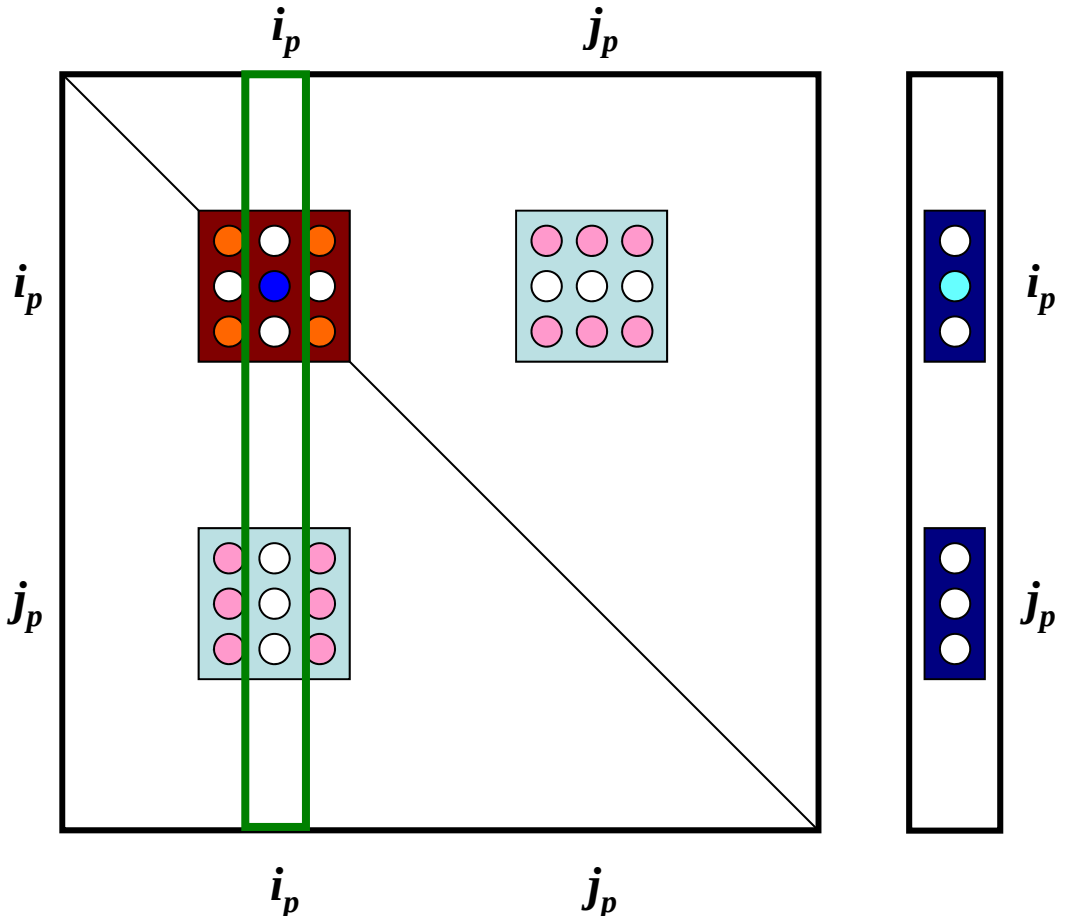




“k” starts from “1”

v=0@Ymin

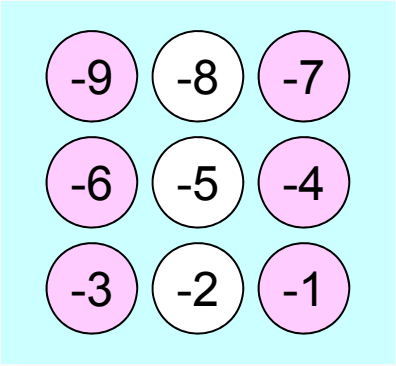
自分の「列」：右辺へ移項，非対角成分=0



境界条件：MAT_ASS_BC（9/9）

```
            for(in=0;in<N;in++){
                        iS= indexL[in]+1;
                        iE= indexL[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                    if (IWKX[itemL[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                                AL[9*k-8]= 0.e0;
                                                AL[9*k-5]= 0.e0;
                                                AL[9*k-2]= 0.e0;
                                    }
                        }

                        iS= indexU[in]+1;
                        iE= indexU[in+1];
                        for(k=iS;k<=iE;k++){
                                    if (IWKX[itemU[k-1]-1][0] == 1 ) {
                                                AU[9*k-8]= 0.e0;
                                                AU[9*k-5]= 0.e0;
                                                AU[9*k-2]= 0.e0;
                                    }
                        }
            }
}
```

v=0@Ymin



“k” starts from “1”