

図1-1 食塩(NaCl)の結晶。



図1-2 ミョウバンの結晶。最初にできた小さな結晶を糸で吊って、さらに大きくしたもの。
黒い線はその糸を示す。



図1-3 アスピリンの結晶



図1-4 ダイヤモンド。(a)ブリリアンカットしたもの (b)原石



(a)



(b)

図1-5 方解石の結晶。複屈折(文字が二重に見える)の様子を示す

(a)

方解石



図1-6 リゾチーム(鶏の卵白から取ったもの)の結晶

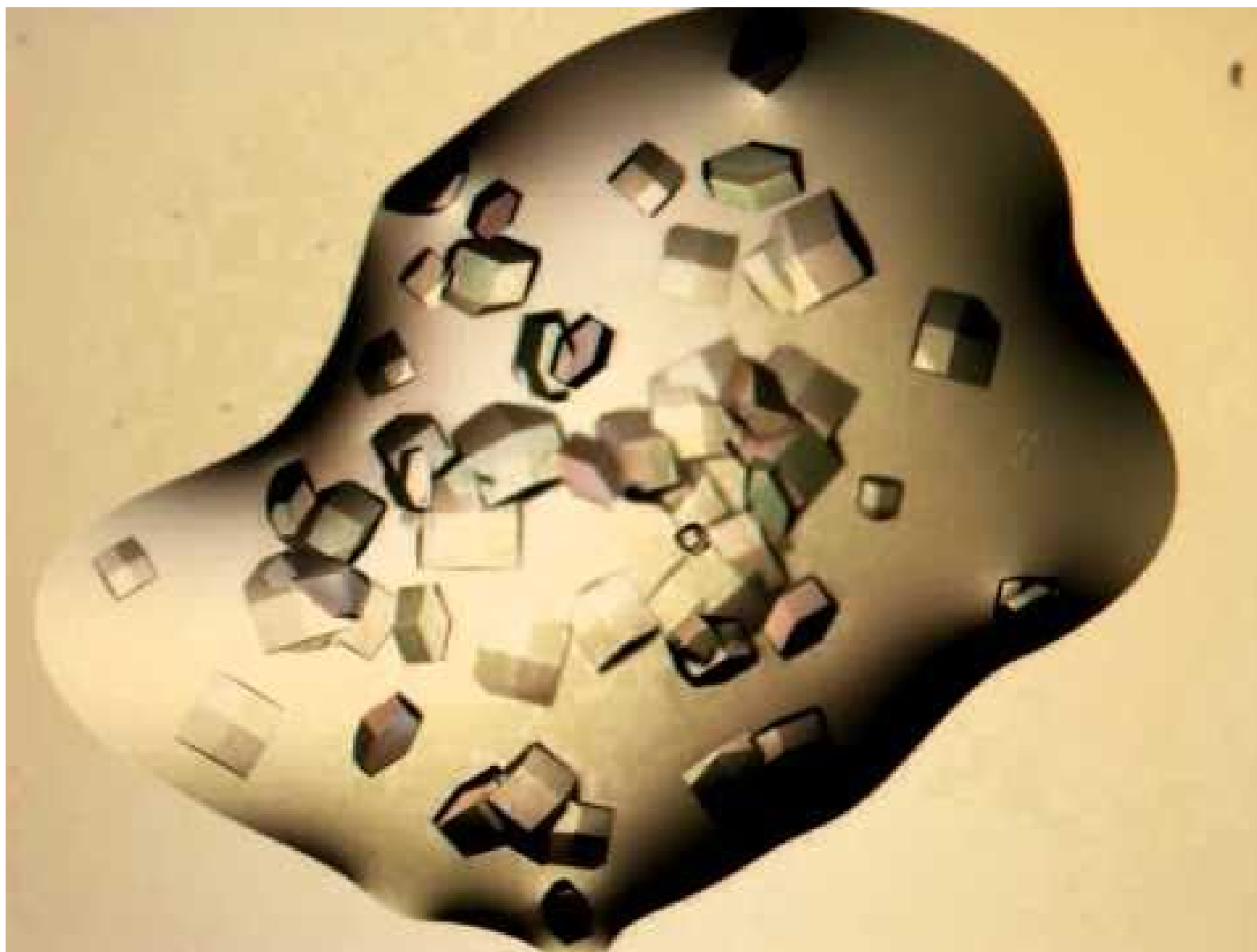


図1-7 サテライト・タバコ・モザイク・ウイルスの結晶

(http://www.nasa.gov/pdf/185054main_UG_Annual_Report_02.pdf)

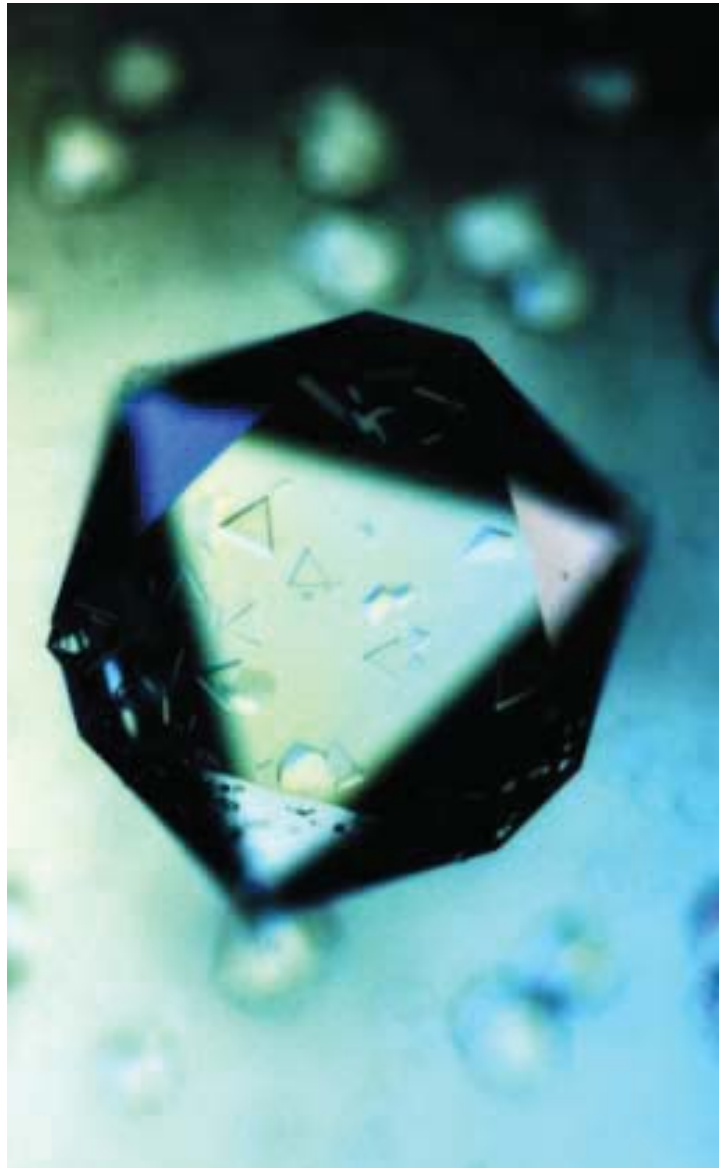
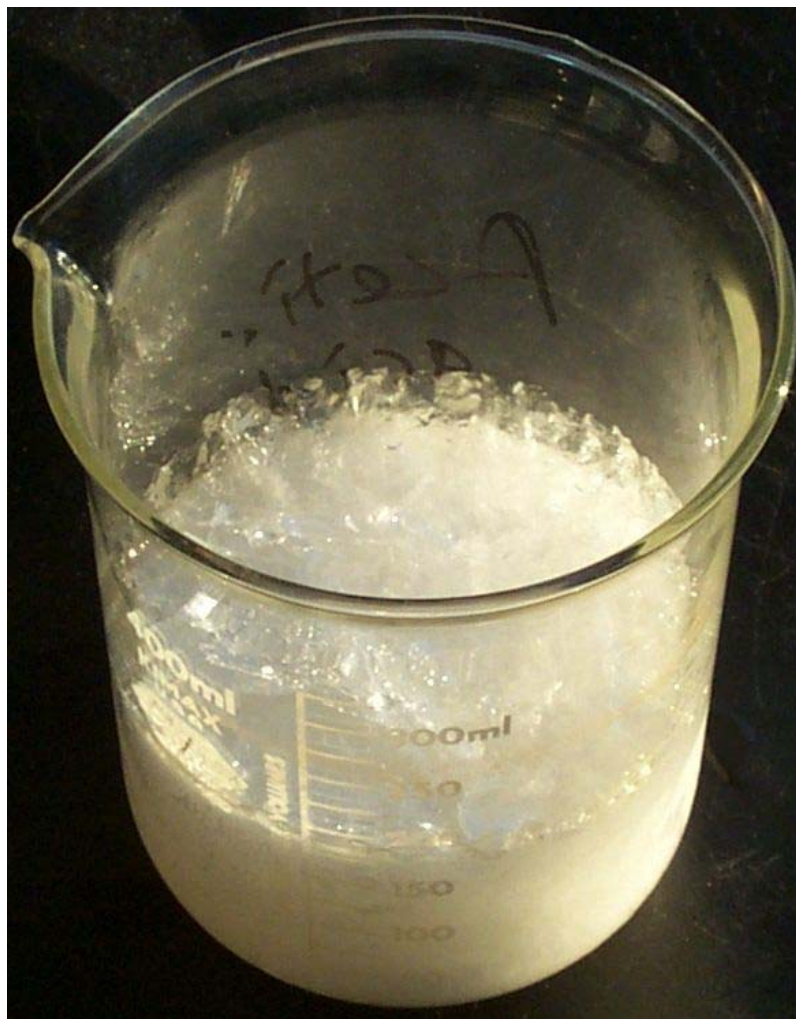


図1-8 酢酸の結晶

ビーカーの中で酢酸は凍る

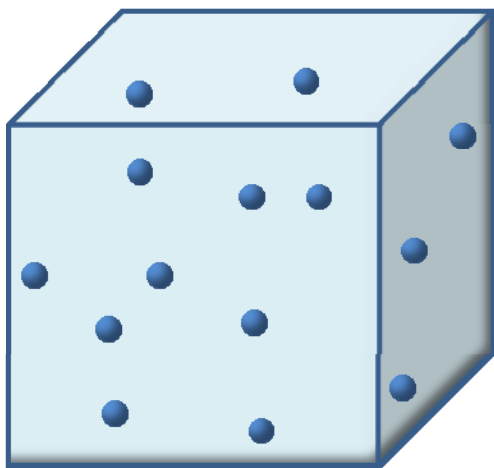


酢酸の結晶

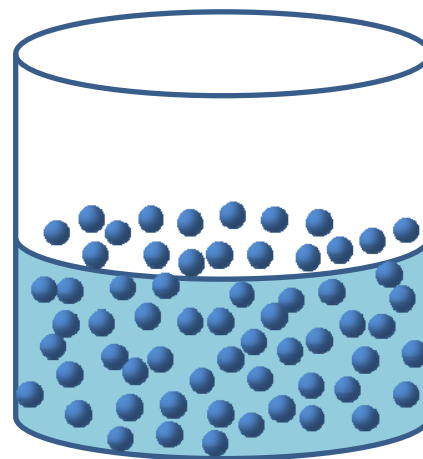


図1-9 (a) 気体 (b) 液体 (c) 固体(結晶)

(a)



(b)



(c)

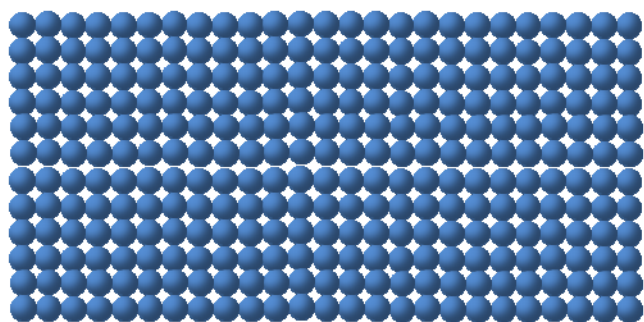


図1-10 (a) 結晶 (b) 無定形固体(アモルファス)

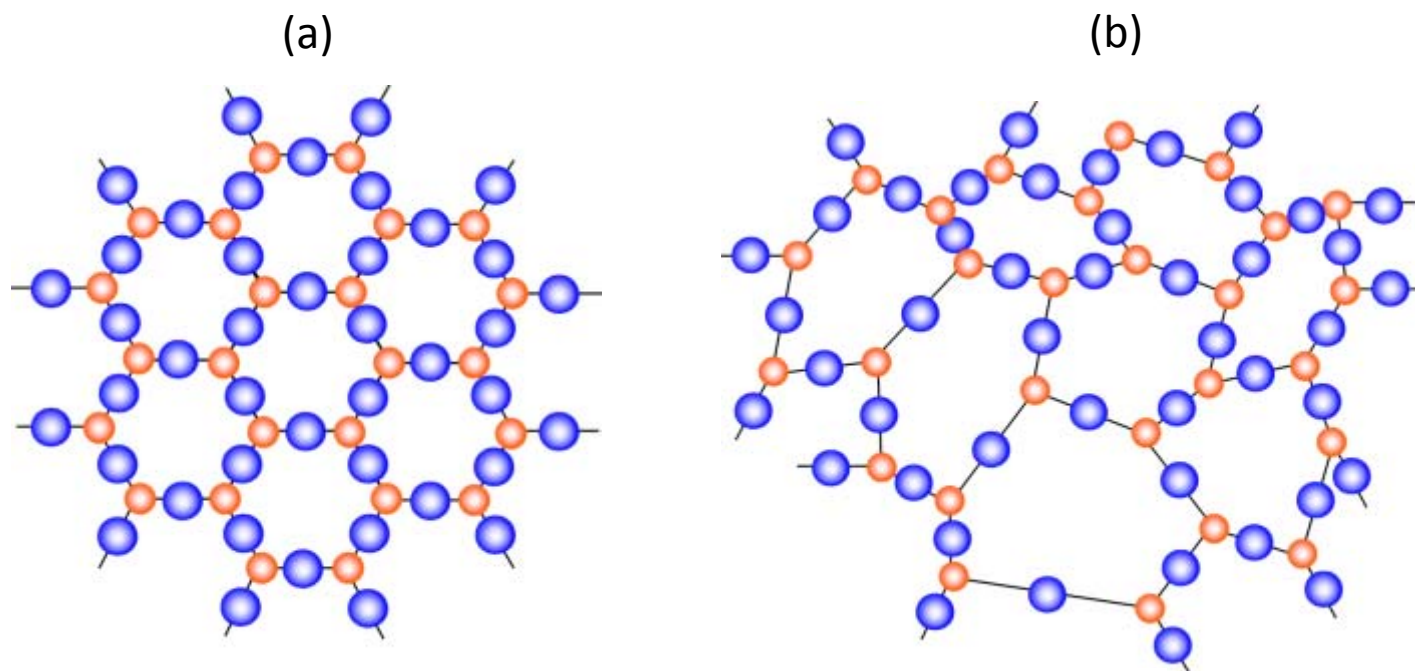


図1-11 (a) 水素分子 (b) 水素分子内の電子の分布(色の濃い所に電子が偏る)
(c)メタン分子 (d)水分子

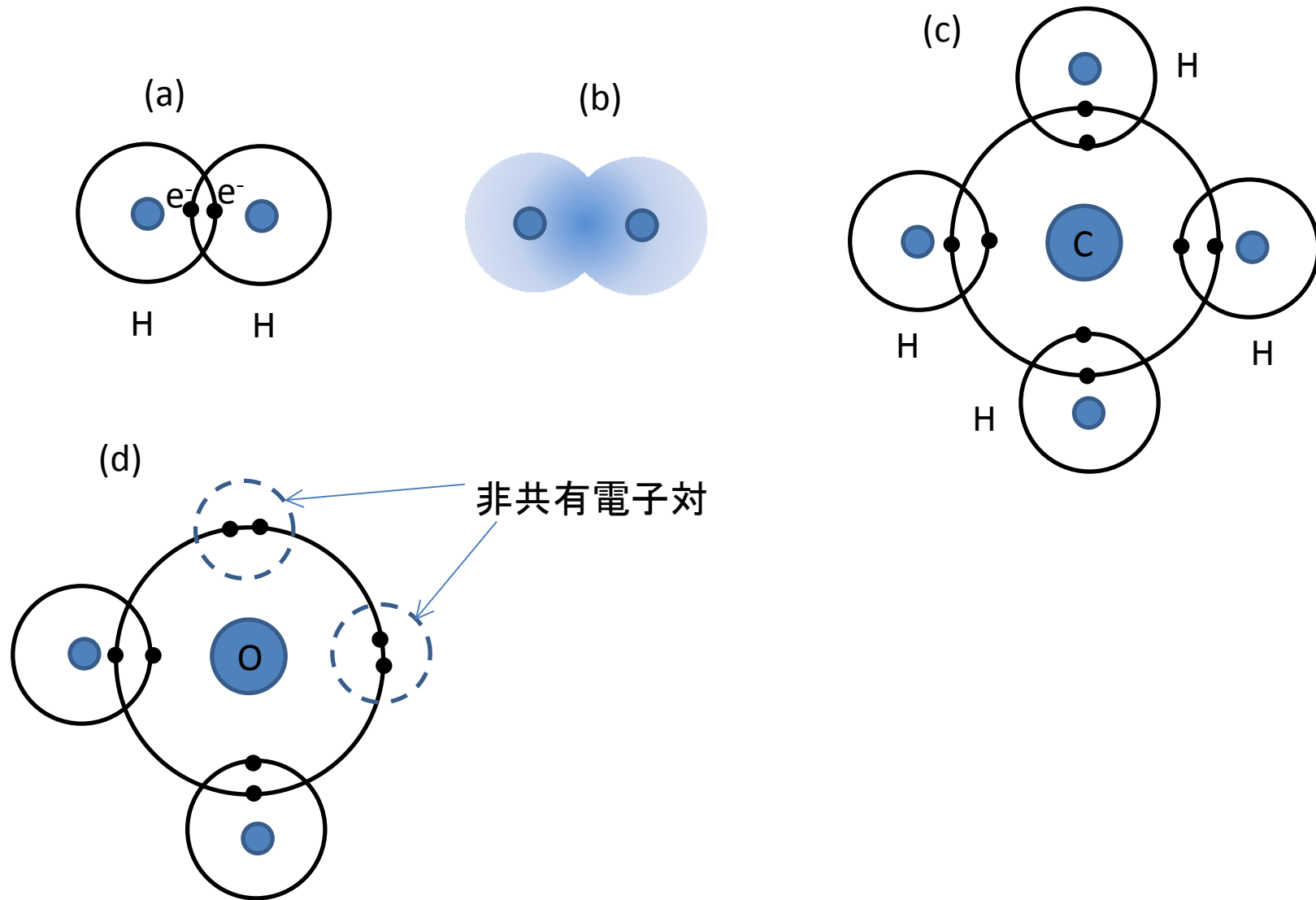
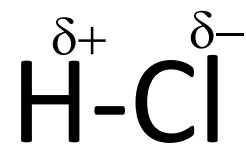


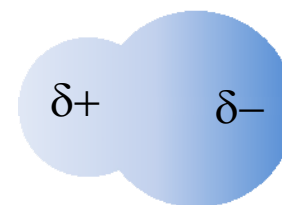
図1-12 (a) HCl分子 (b) 分極したHCl分子 (c) 分極したHCl分子内の電子の分布。色の濃い方に電子が偏る。



(a)



(b)



(c)

図1-13 双極子として働く分子が＋イオンと－イオンを取り囲むように配向する

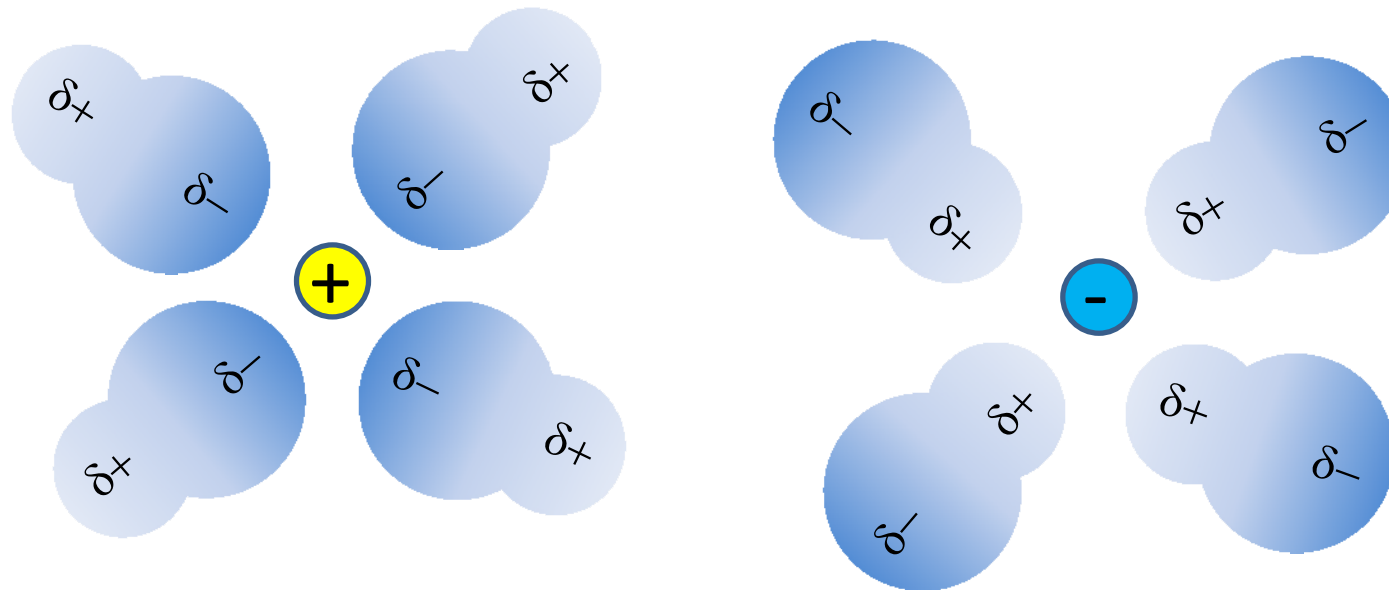


図1-14 複数の双極子は互いの双極子を打ち消しあうように配向する(並ぶ)

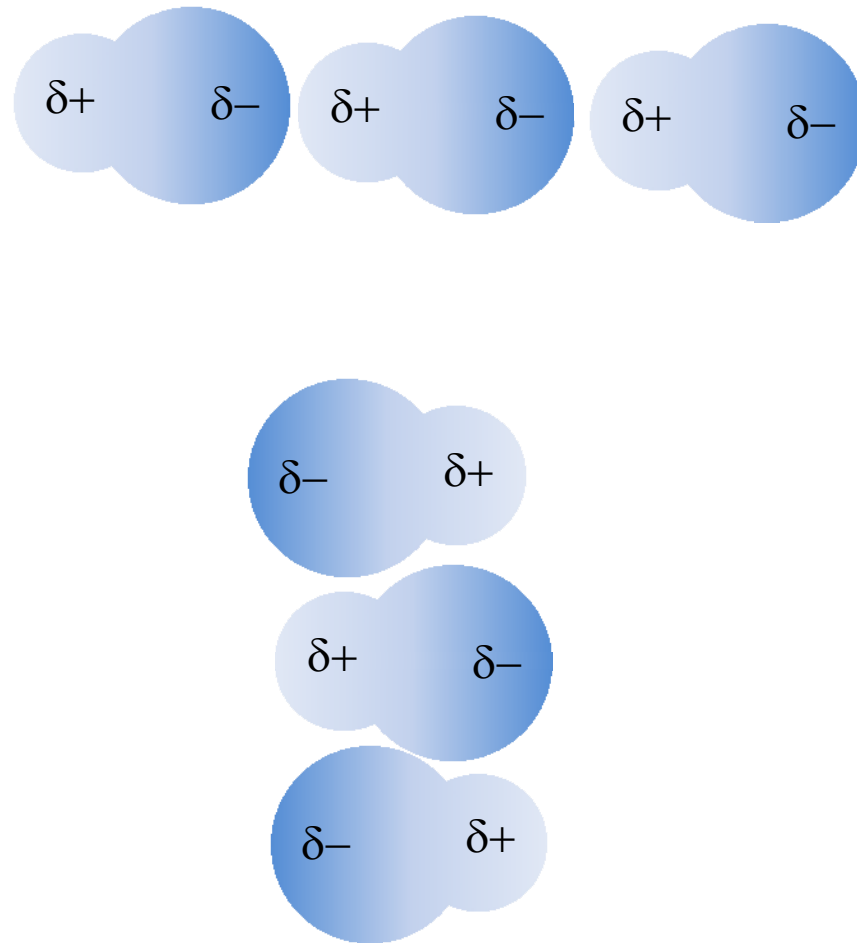
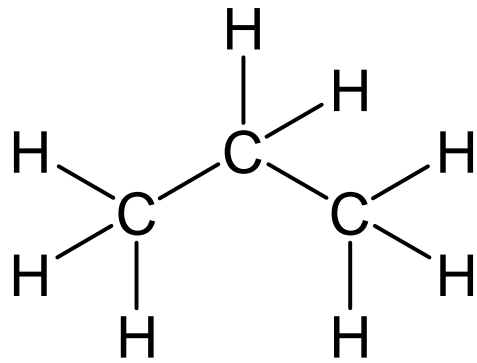
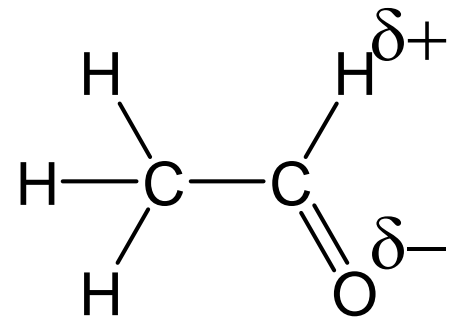


図1-15 プロパンおよびアセトアルデヒドの化学構造



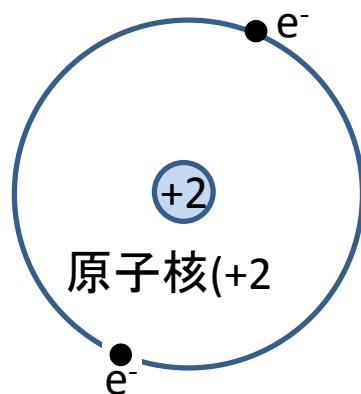
プロパン



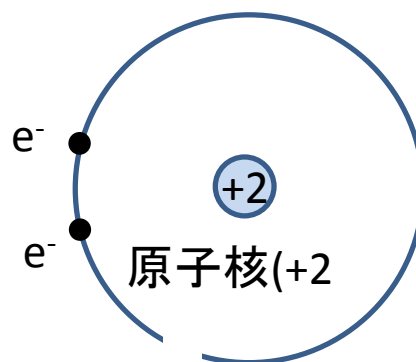
アセトアルデヒド

図1-16 ヘリウム原子の瞬間双極子

(a) He原子



(b) 瞬間的に電子が偏る



(c) 瞬間双極子ができる

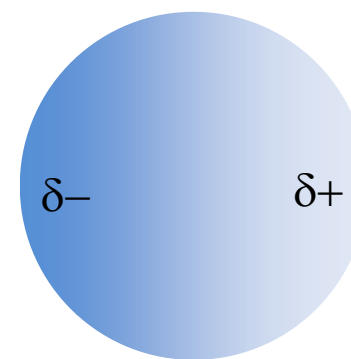


図1-17 瞬間双極子による誘導双極子の生成

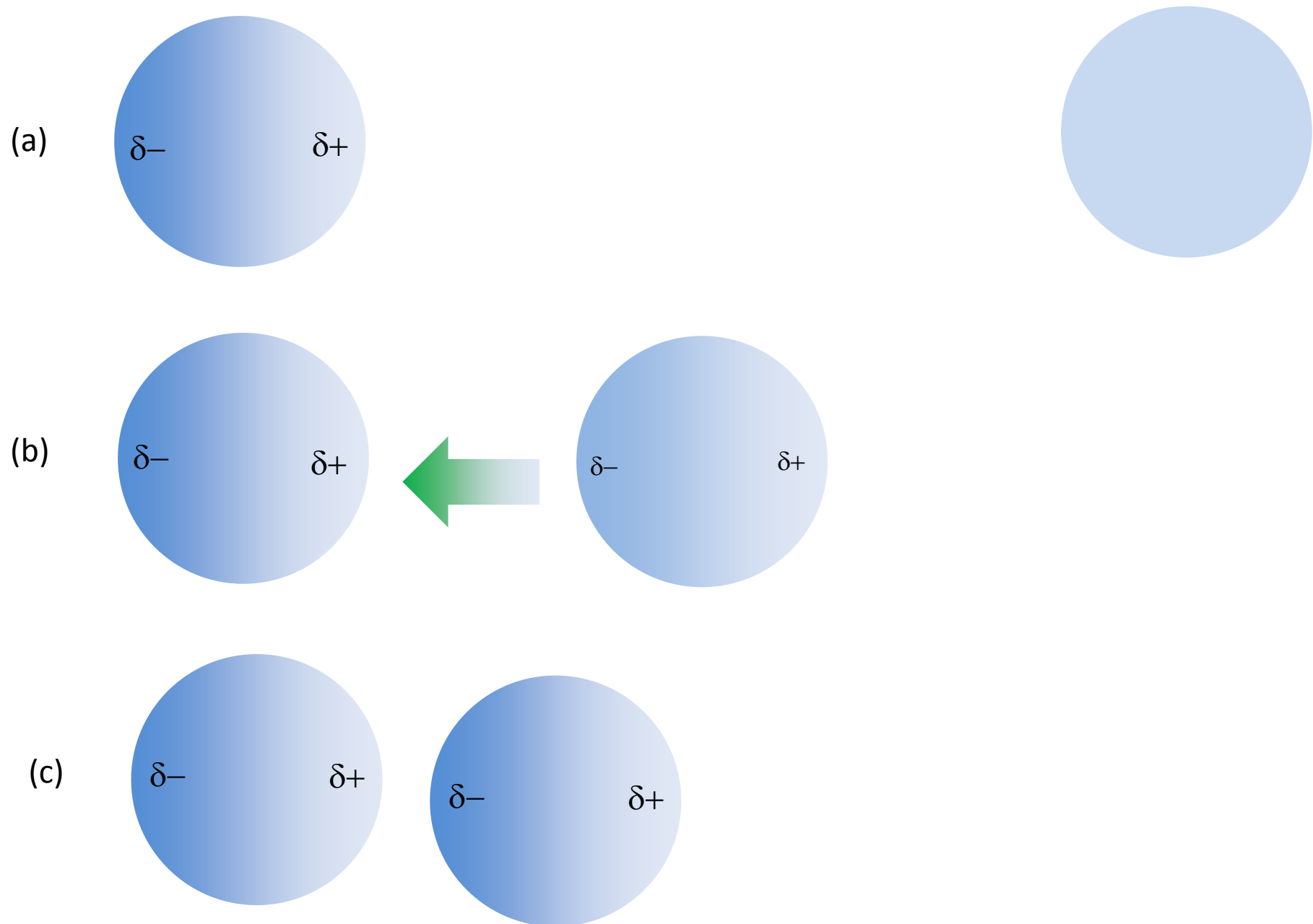


図1-18 ロンドン力で近づくHe原子

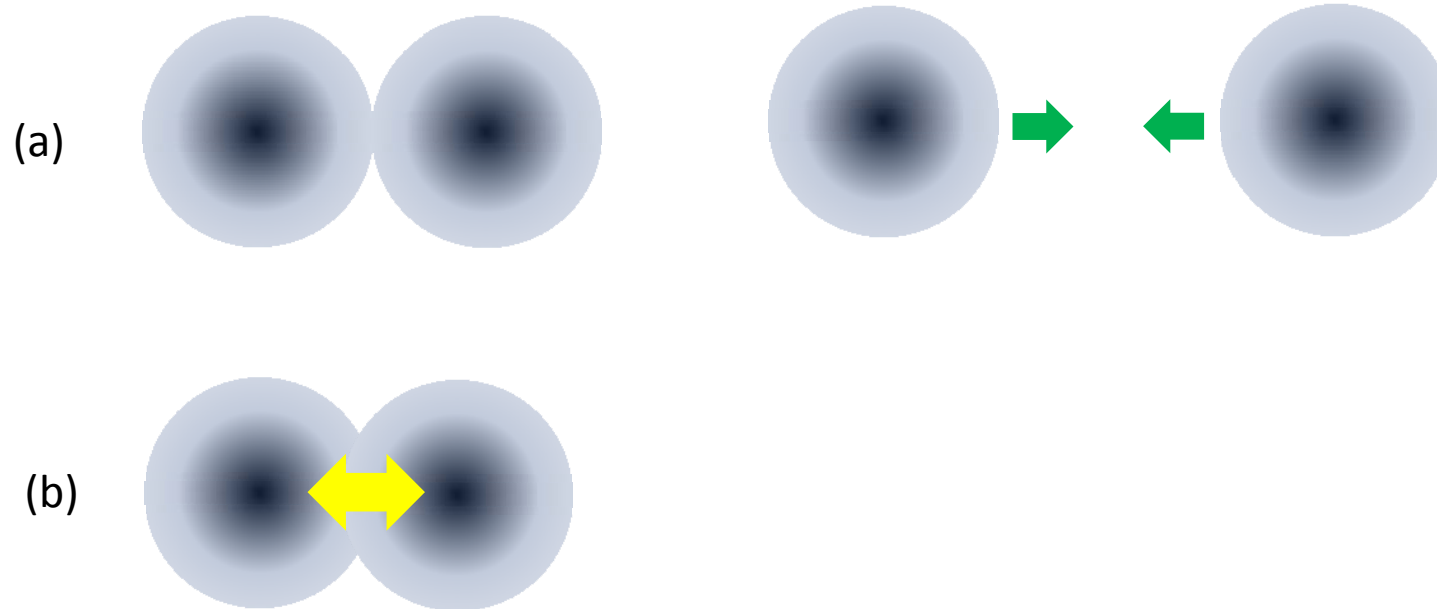


図1-19 ファン・デル・ワールス力

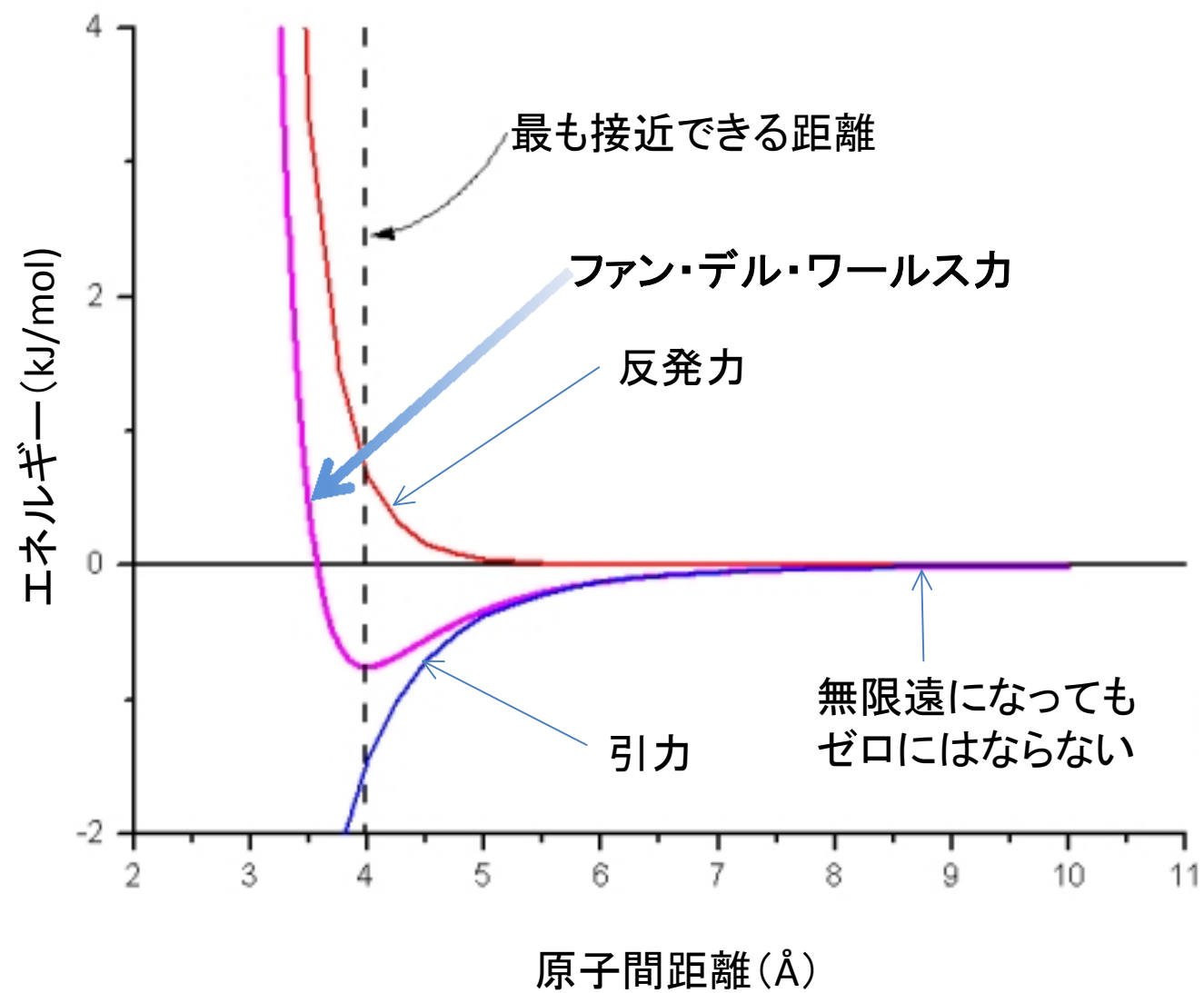


表1－1 希ガスの電子数と沸点の関係

	原子量	電子数	沸点(°C)
He	4.0	2	277.6
Ne	20.2	10	300.3
Ar	39.9	18	360.5
Kr	83.8	36	393.9
Xe	131.3	54	439.1

表1-2 炭化水素の物性と分子組成の関係

	組成	電子数	融点 (°C)	沸点 (°C)
n-ペンタン	C ₅ H ₁₂	42	-129	36
n-ヘキサン	C ₆ H ₁₄	50	-95	69
n-ヘプタン	C ₇ H ₁₆	58	-90.7	98.4
n-オクタン	C ₈ H ₁₈	66	-56.8	125.7
n-ノナン	C ₉ H ₂₀	74	-51	149.5
n-デカン	C ₁₀ H ₂₂	82	-29.7	174.2
n-ウンデカン	C ₁₁ H ₂₄	90	-25.6	195.9

図1-20 炭化水素中の電子の数と沸点の関係

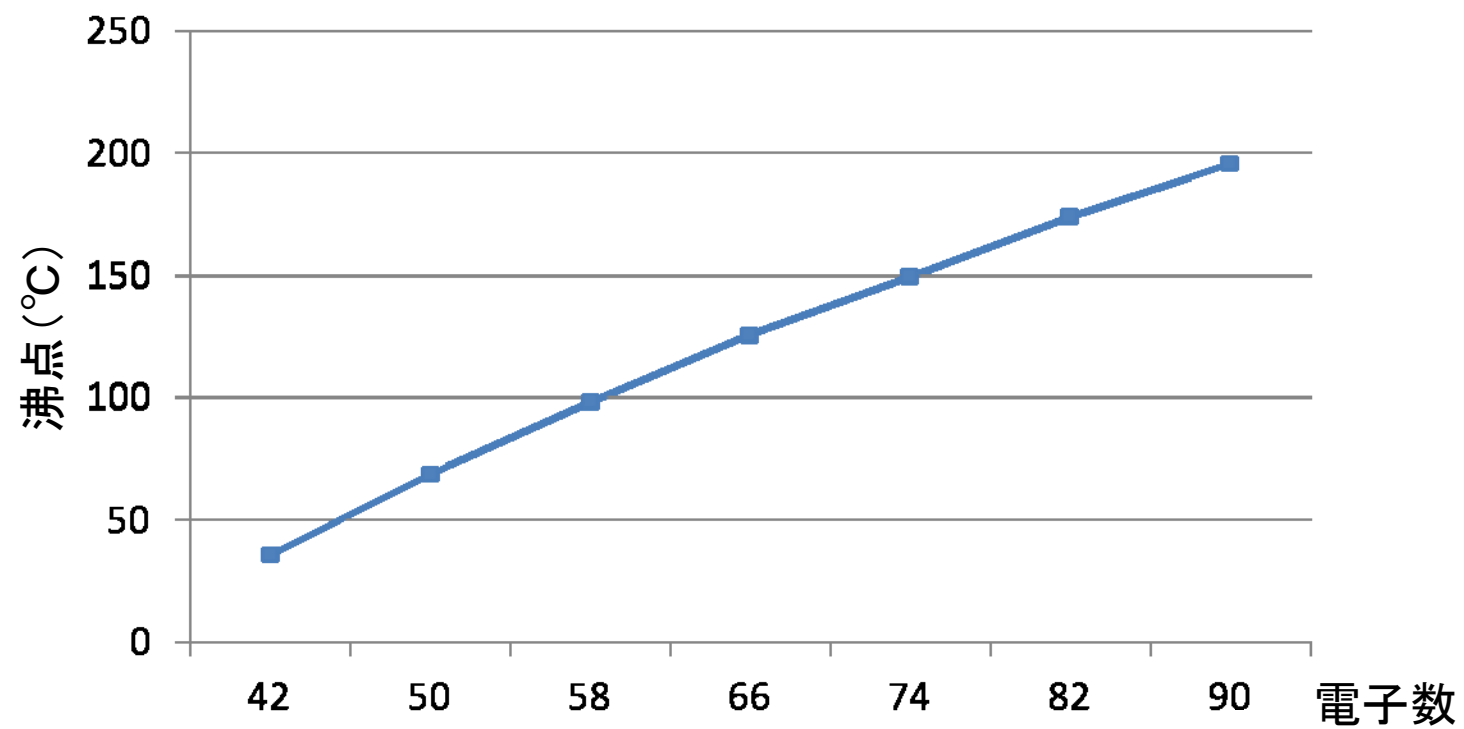


図1-21 電子の数と沸点の関係(CH_4 から SnH_4)

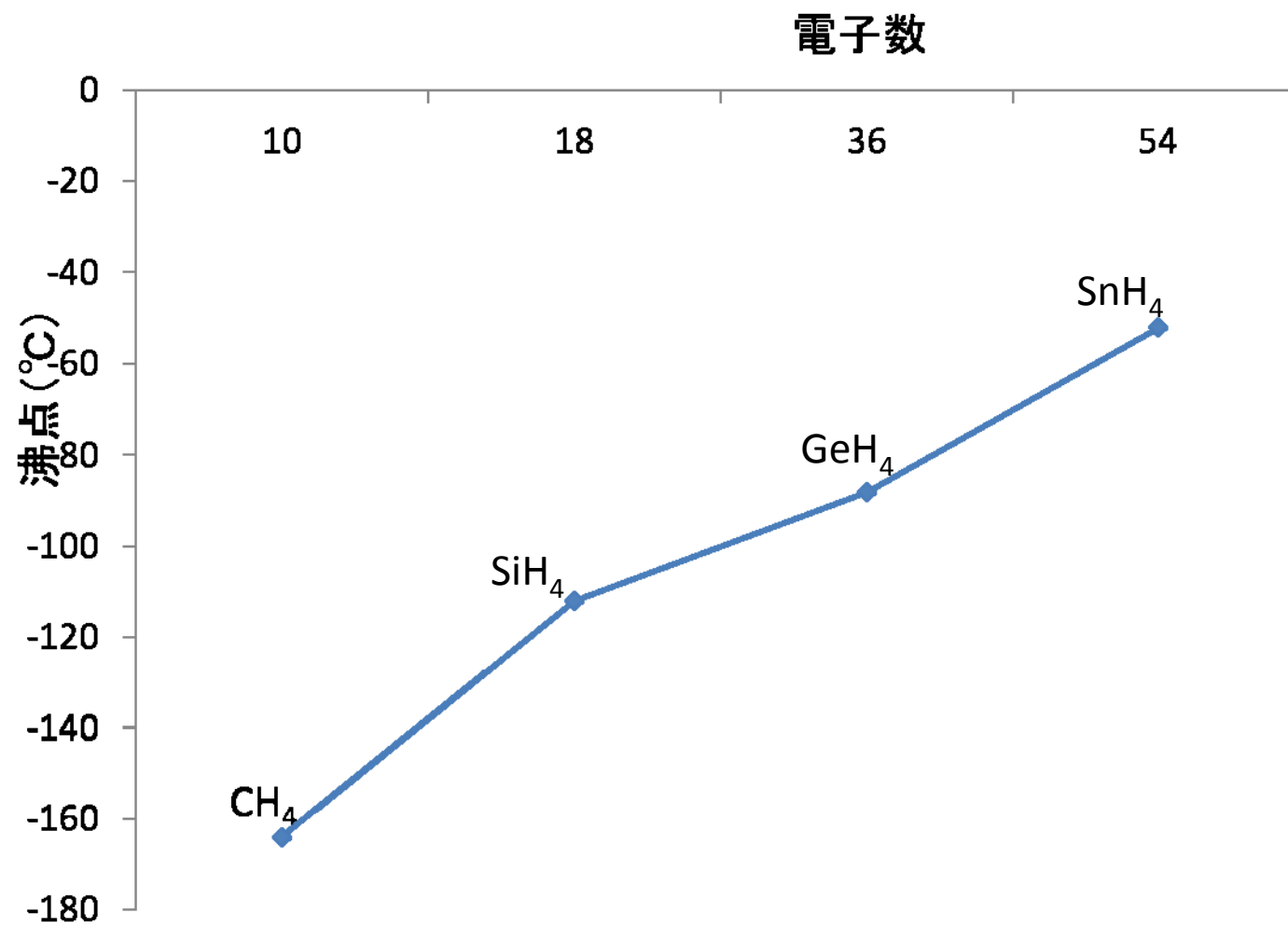


図1-22 電子の数と沸点の関係。異常な挙動をとる NH_3 と H_2O

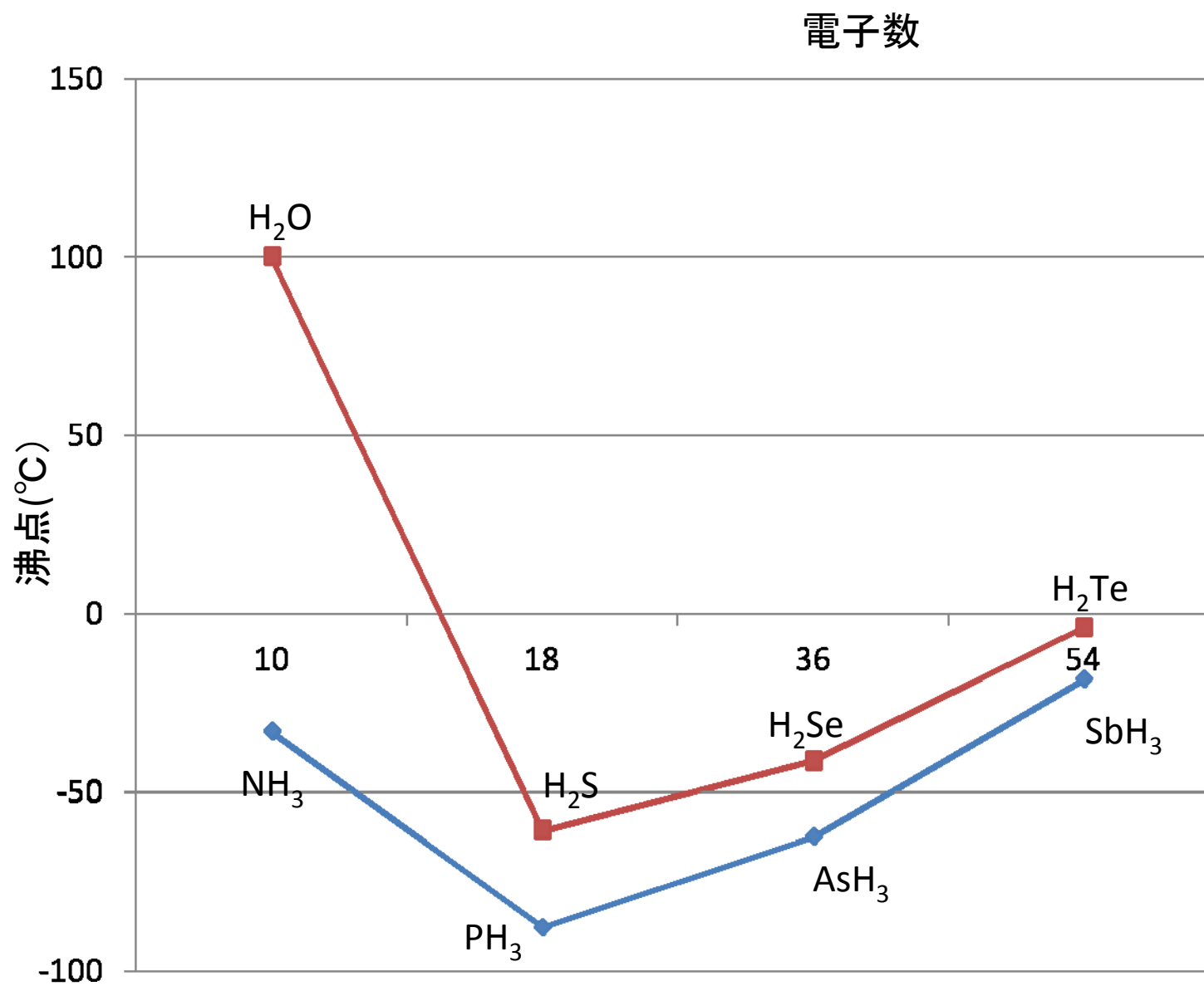


図1-23 水分子の化学構造と立体構造

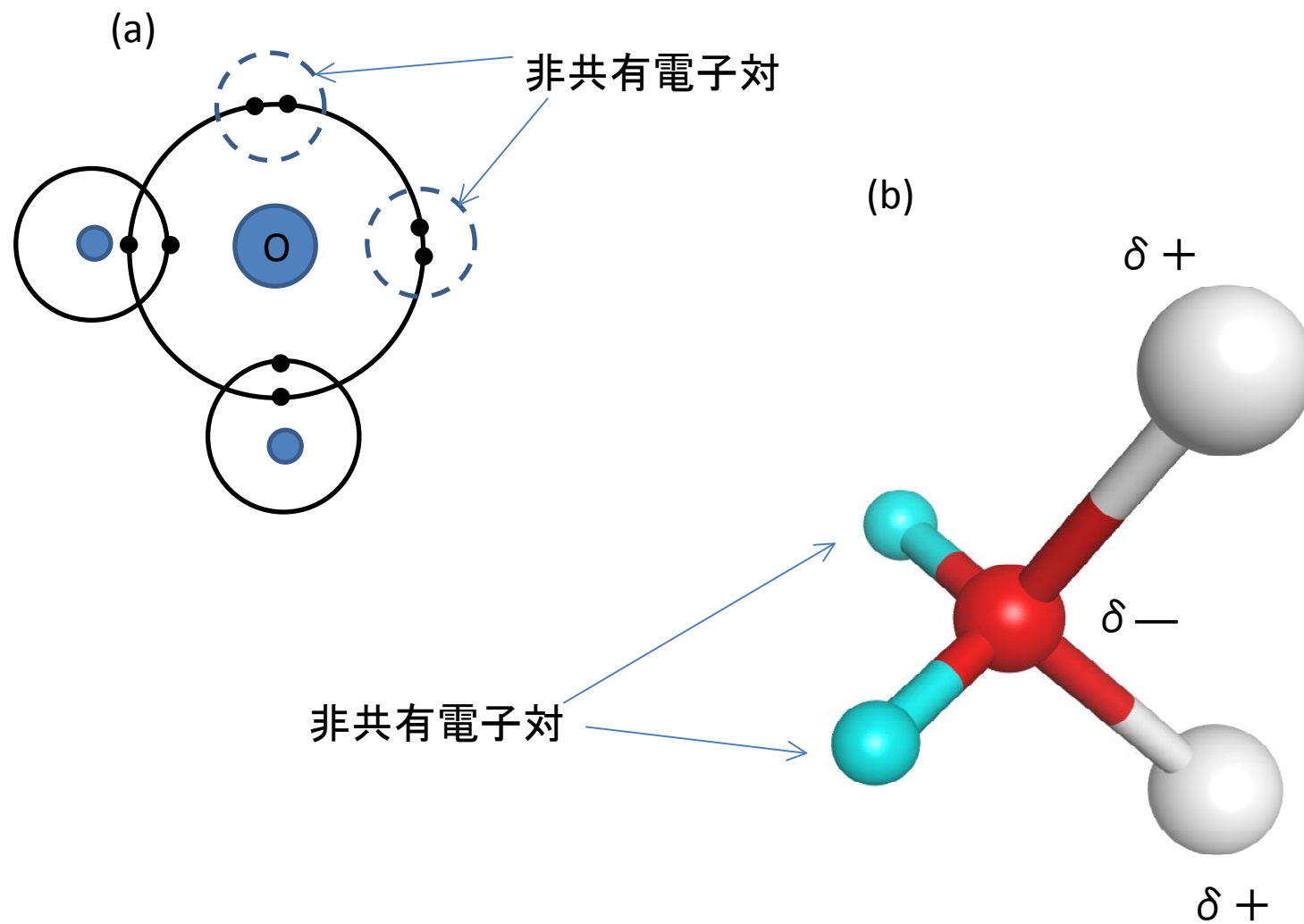


図1-24 2個の水分子の接近

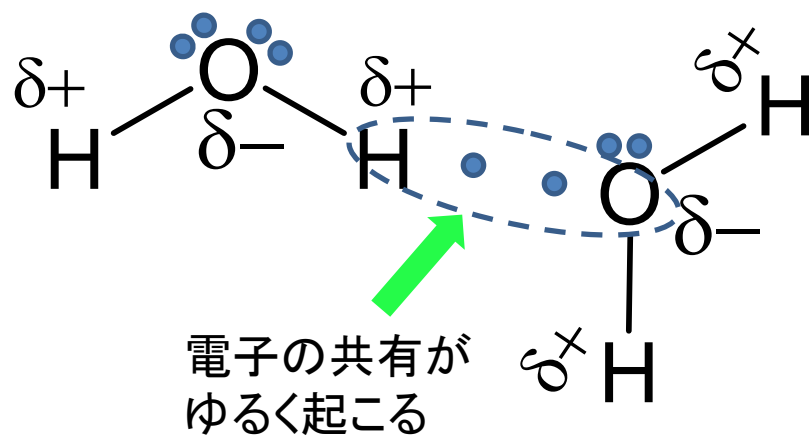
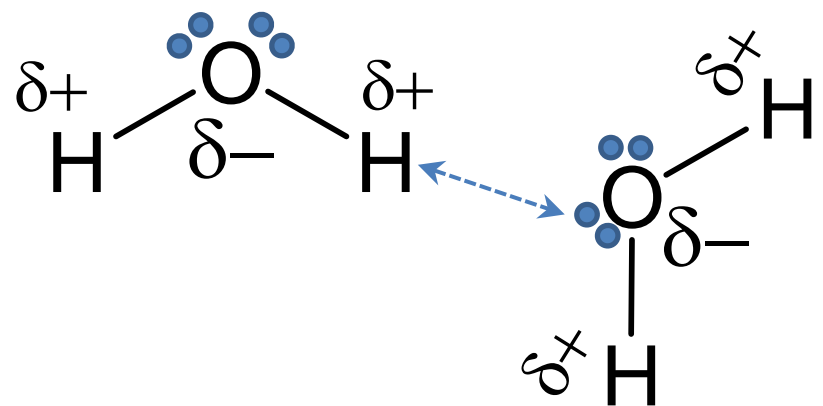


図1-25 複数の水分子の集合。点線は水素結合を表す。この図はステレオ図であり、右の図を右目で、左の図を左目で見ると、中央に立体的な像が見える。

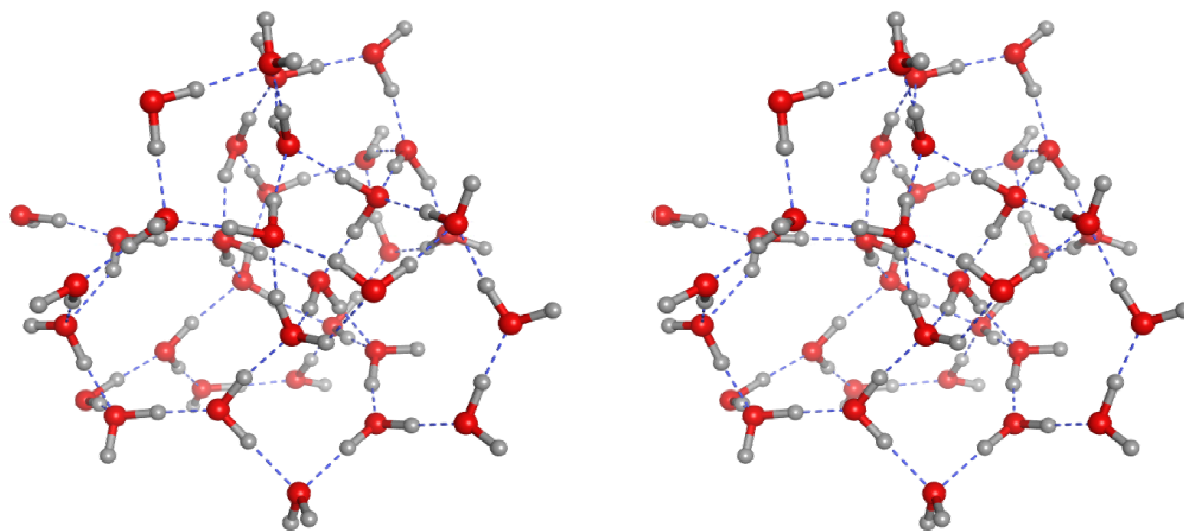
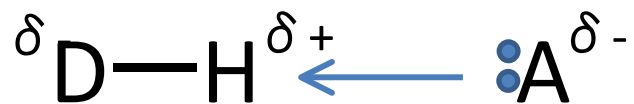


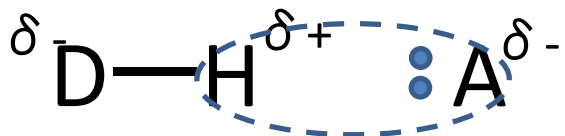
図1-26 水素結合の一般型



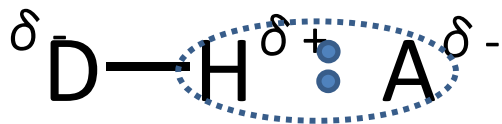
静電相互作用で近づく



静電相互作用で近づく



非共有電子対がH原子向く



非共有電子対がH原子とゆるく共有される

図1-27 水素結合の方向性。O原子の非共有電子対の方向にH原子が向いた水分子は水素結合できる。しかし、O原子の非共有電子対の方向にH原子が向かない水分子は水素結合できない。

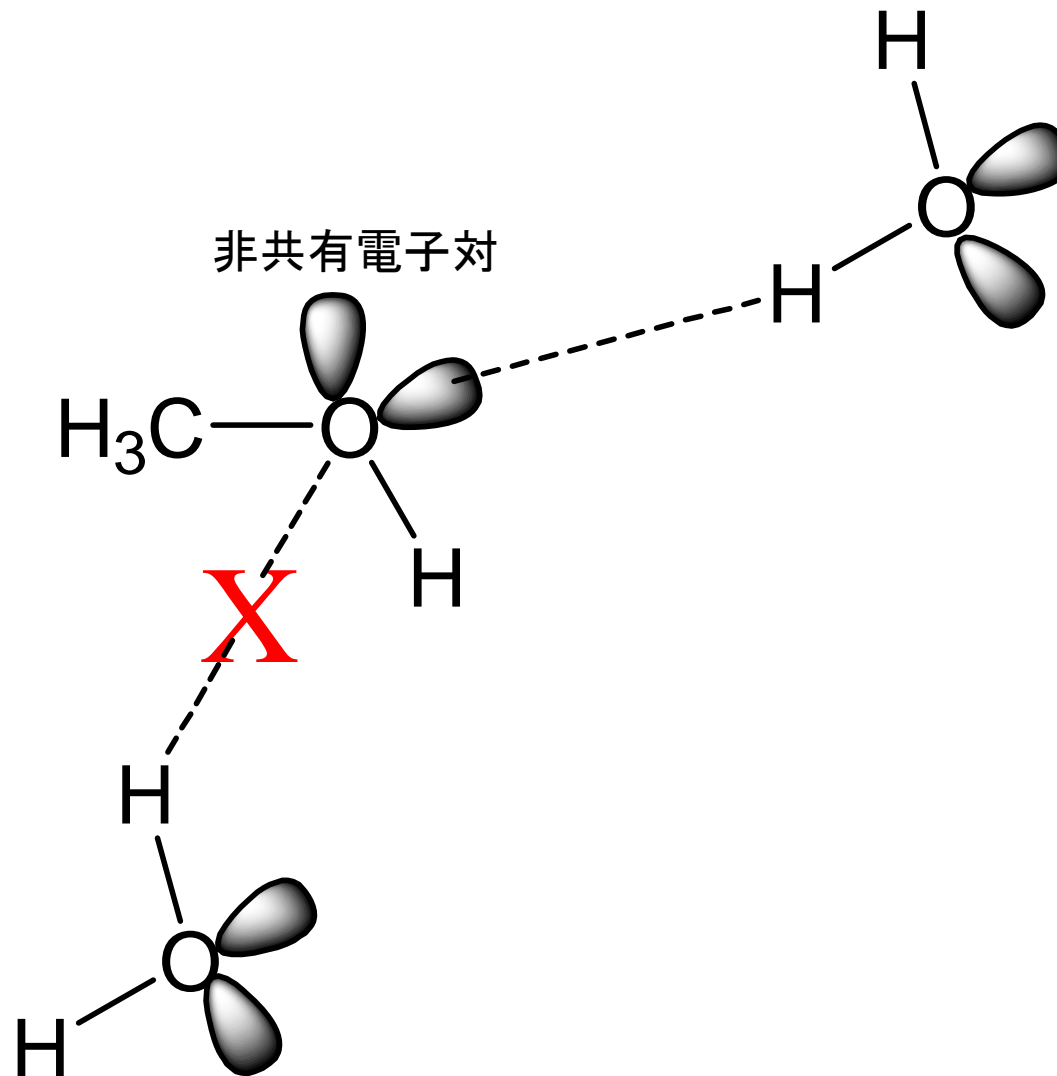
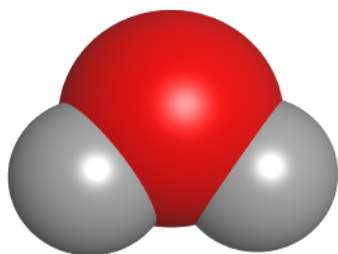
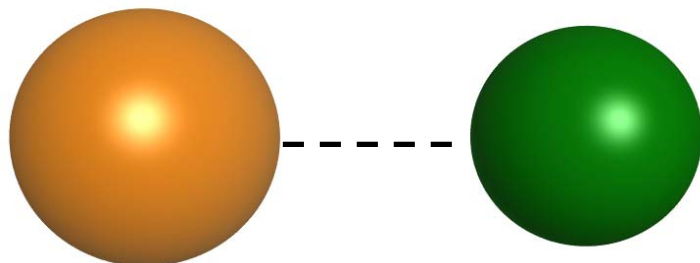


図1-28 原子・分子間で働く相互作用の色々(まとめ)

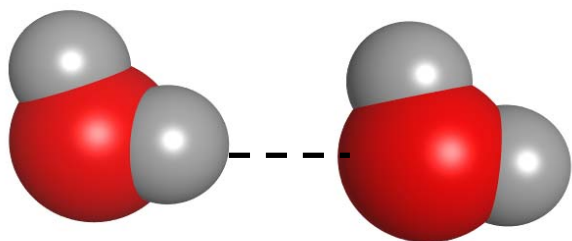
(a)共有結合



(b)イオン結合



(c)水素結合



(d)イオンー永久双極子

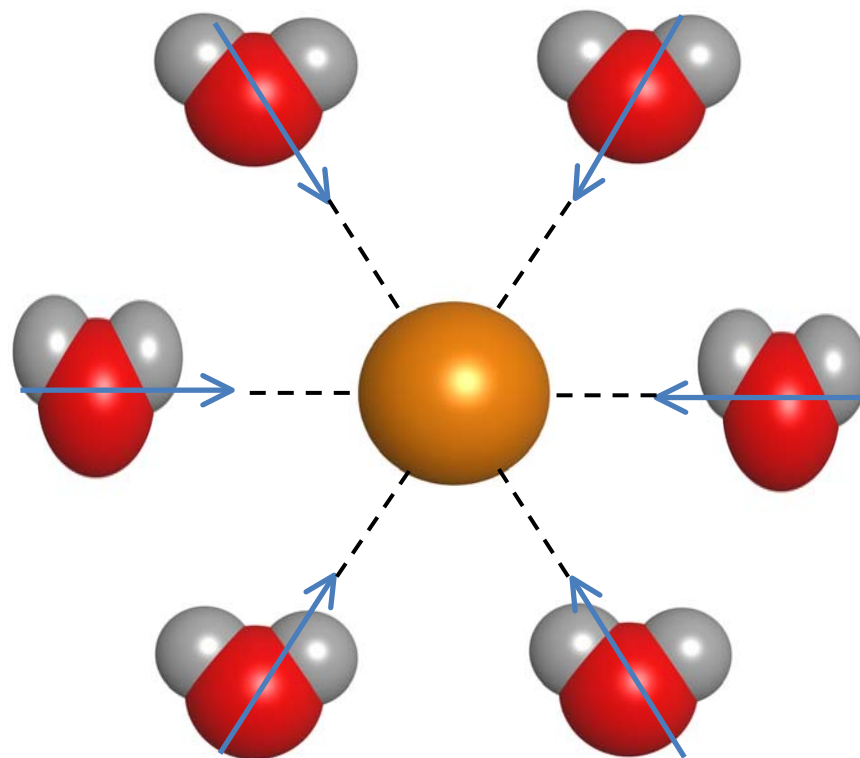
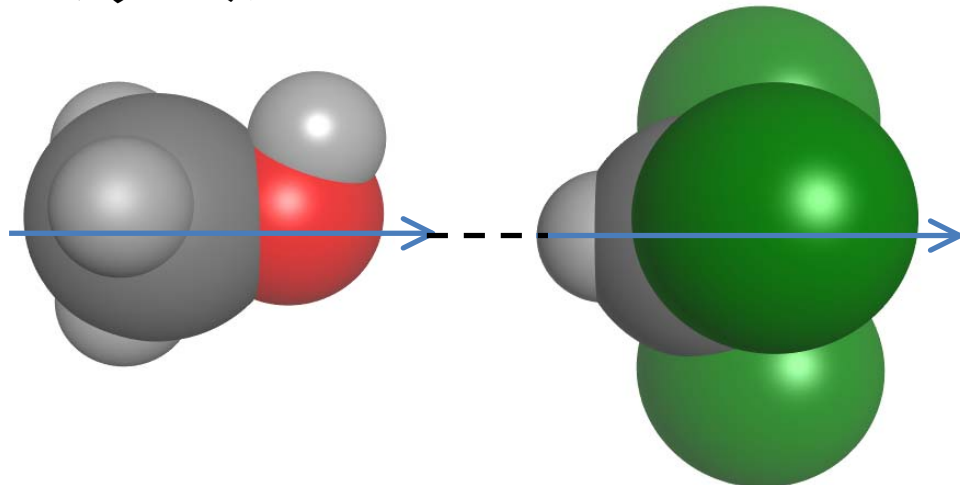


図1-28 原子・分子間で働く相互作用の色々(まとめ)(続き)

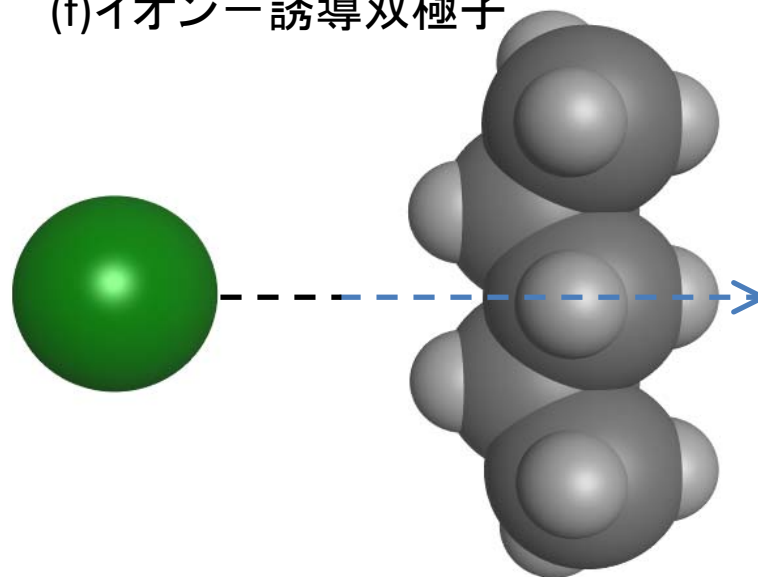
(e) 永久双極子－永久双極子

メタノール

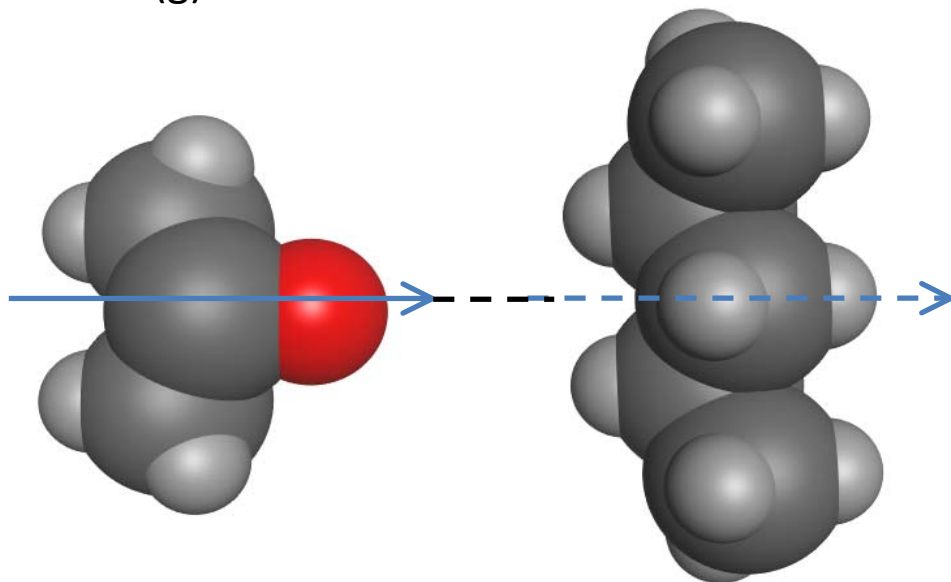
クロロホルム



(f) イオン－誘導双極子



(g) 永久双極子－誘導双極子



(h) 誘導双極子－誘導双極子

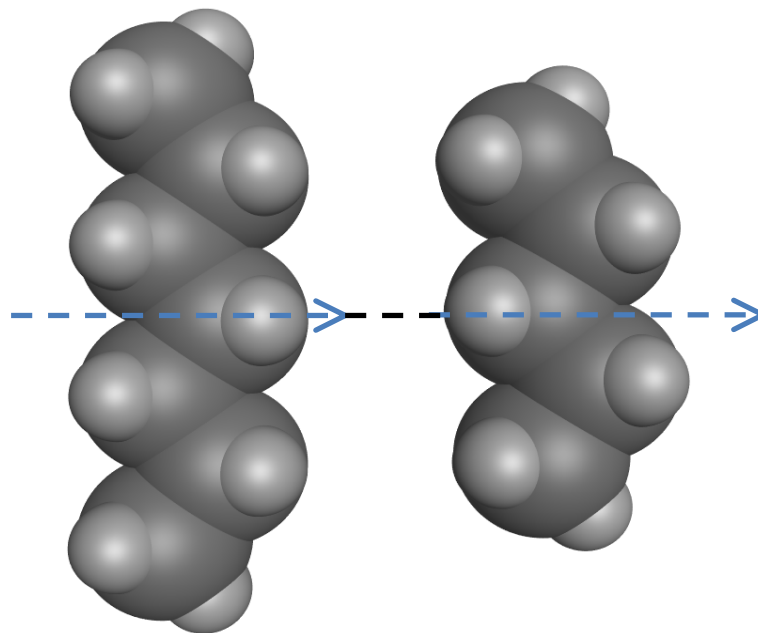


図2-1. 結晶中の原子・分子の配列の例(ステレオ図)

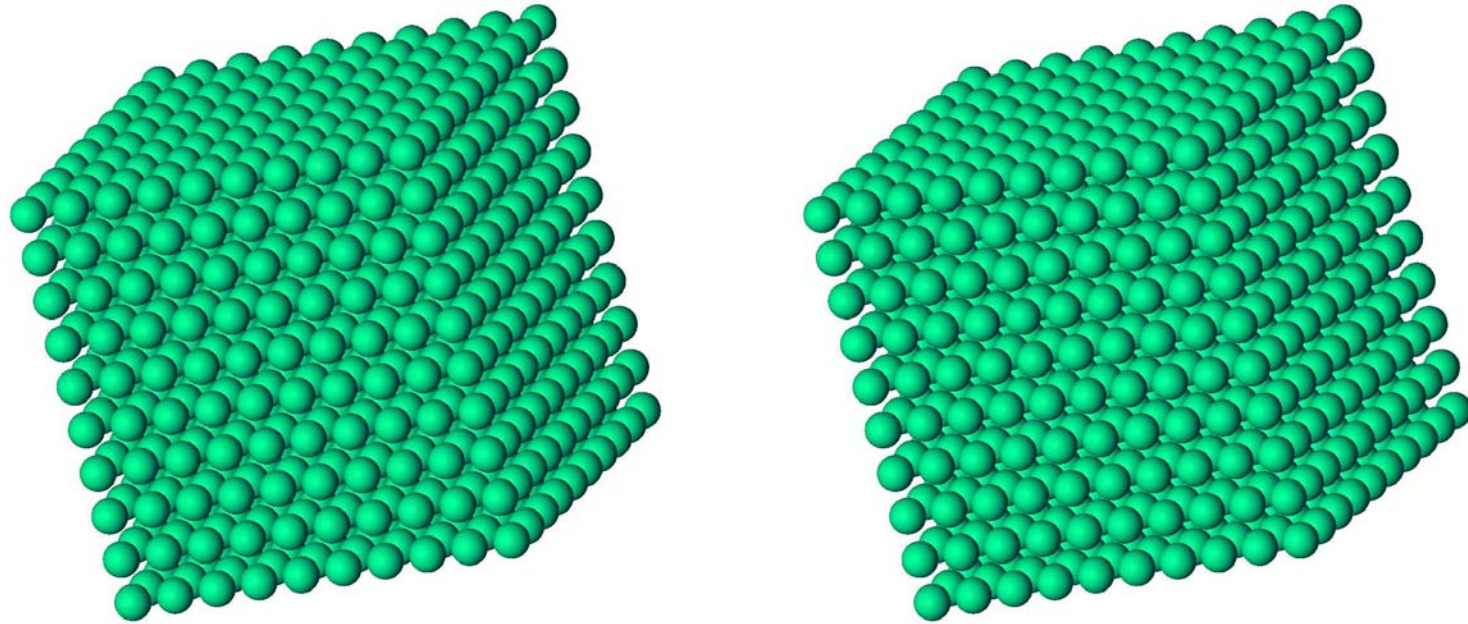


図2-2. 結晶中の2次元(a)および1次元(b)規則配列

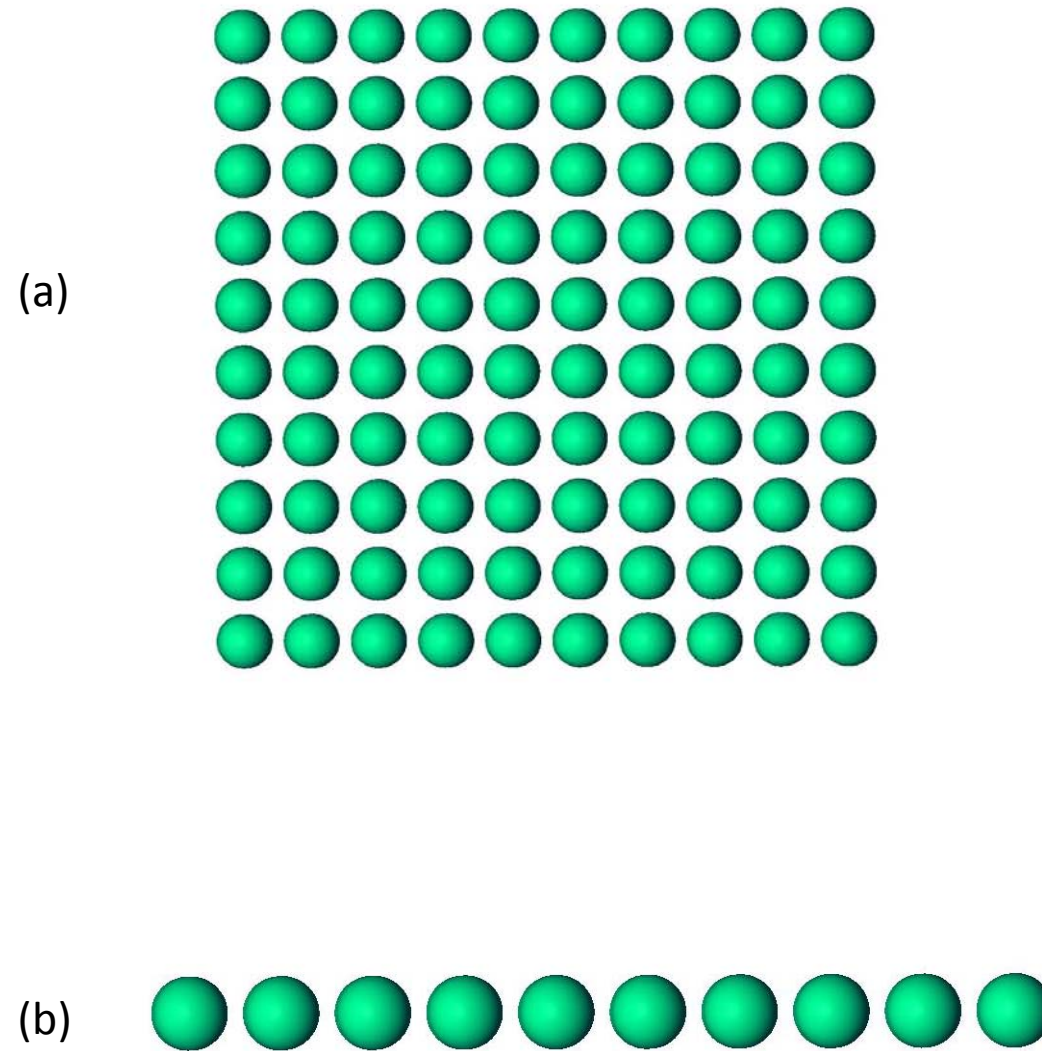


図2-3 ト音記号とそれを鏡に映した鏡像体

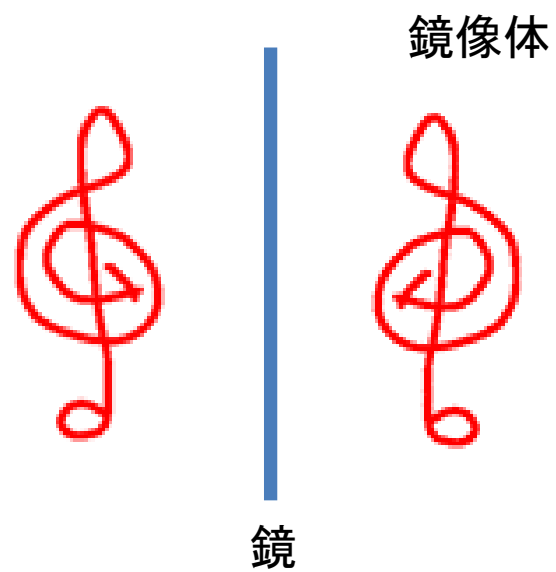
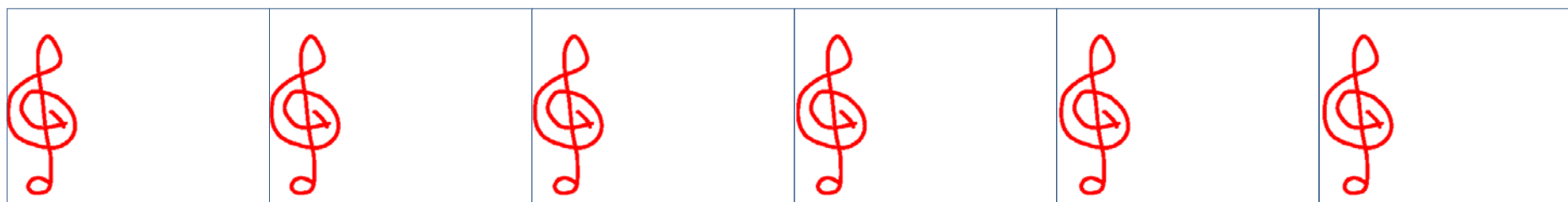


図2-4 ト音記号を一次元的に規則配列される最も簡単な方法 (p111)



(b) 一つの単位胞の取り方



(c) 色々な単位胞の取り方。すべての場合に面積は同じである。



図2-5 リボンの繰り返しパターン



図2-6 並進と水平方向の鏡面操作で作られる繰り返しパターン(p1m1)

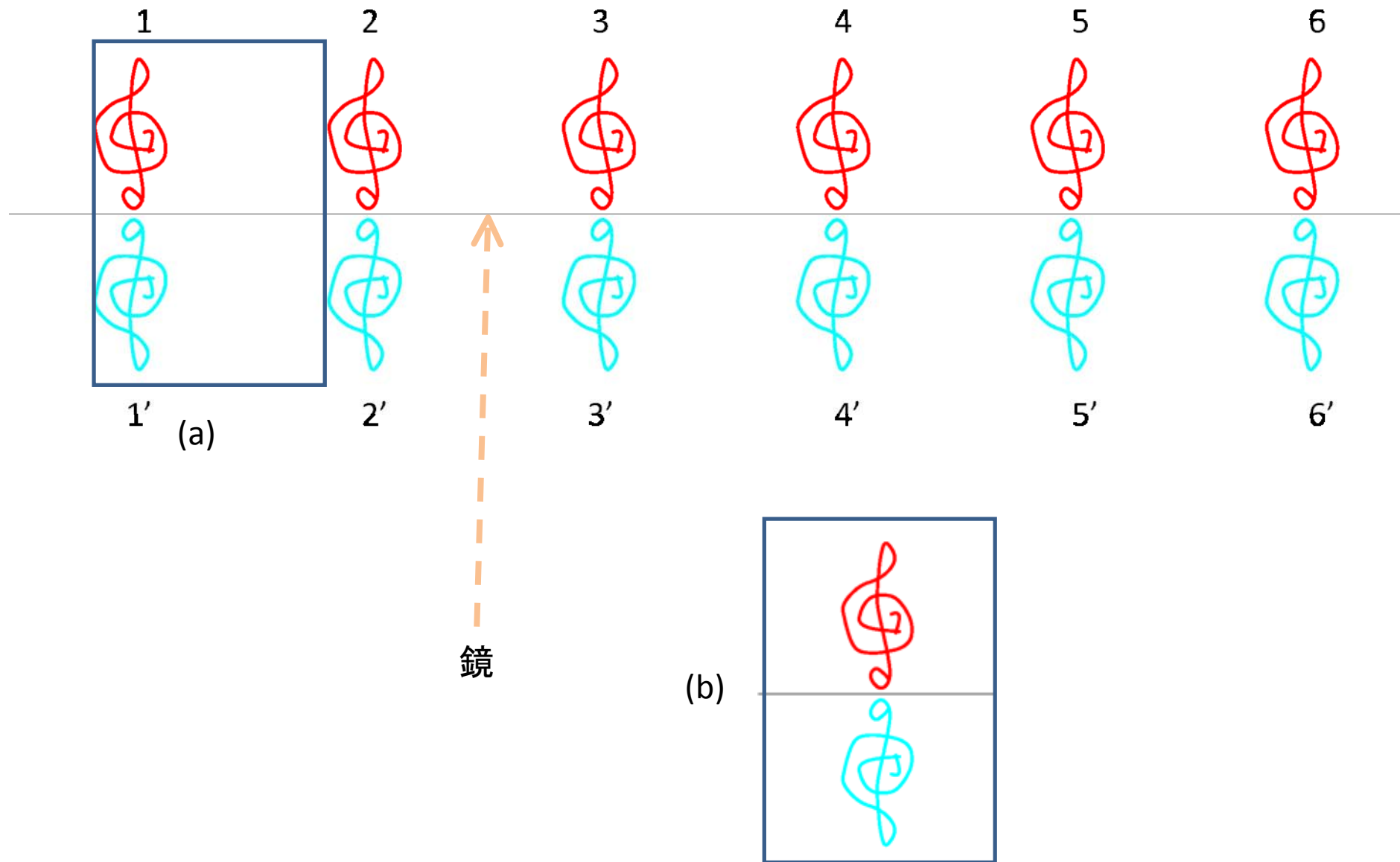


図2-7 並進と垂直方向にある鏡面对称操作で繰り返されるト音記号 (pm11)

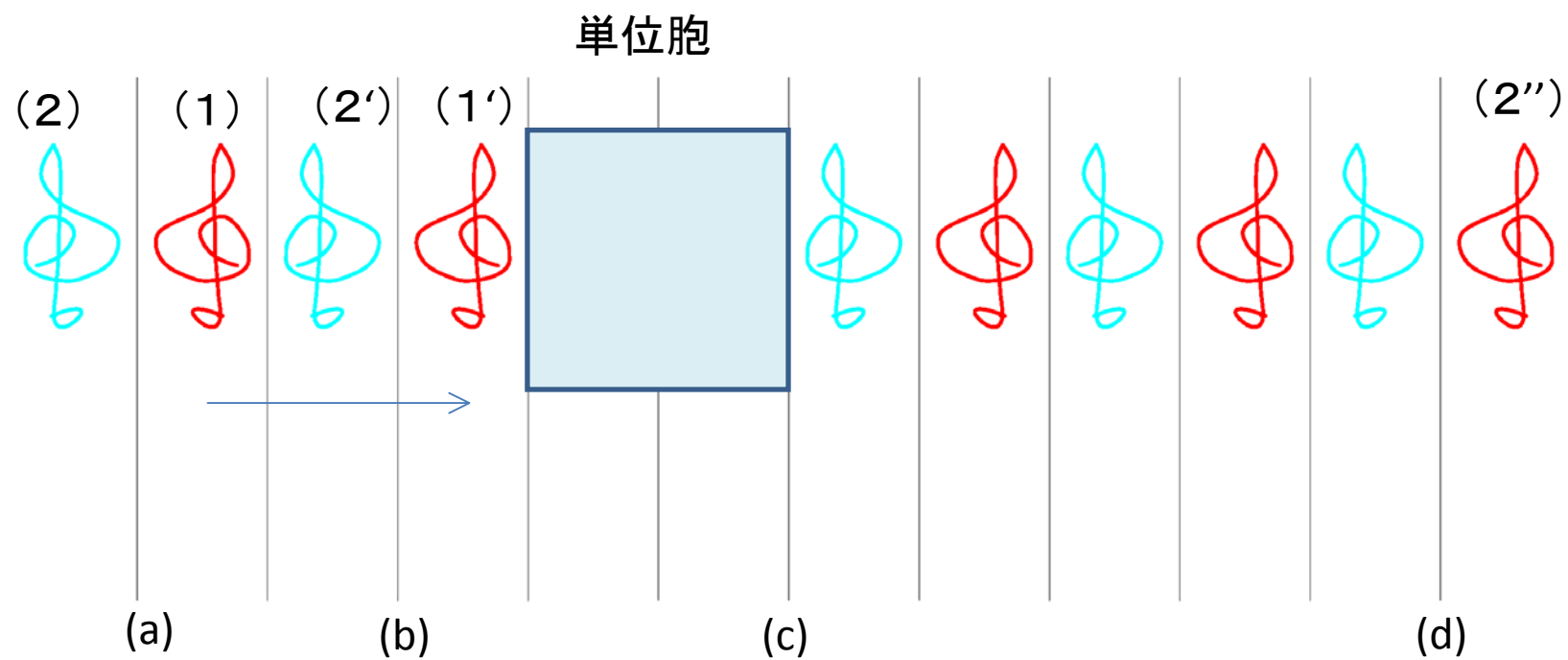


図2-8 並進と2回回転操作で作られる繰り返しパターン(p112)。ト音記号に中央にある◆マークは2回回転の中心を表す。

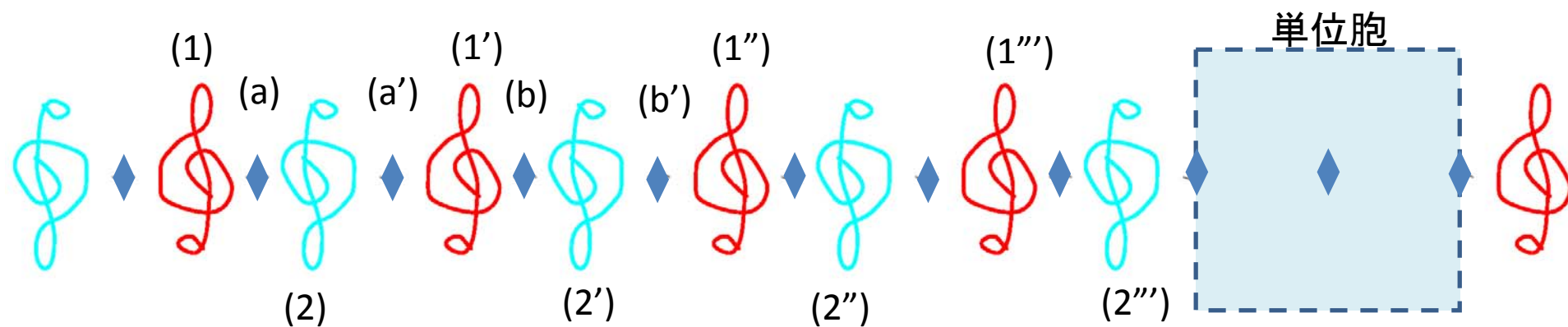


図2-9 並進と2回軸の組合せで新たな2回軸が生成する

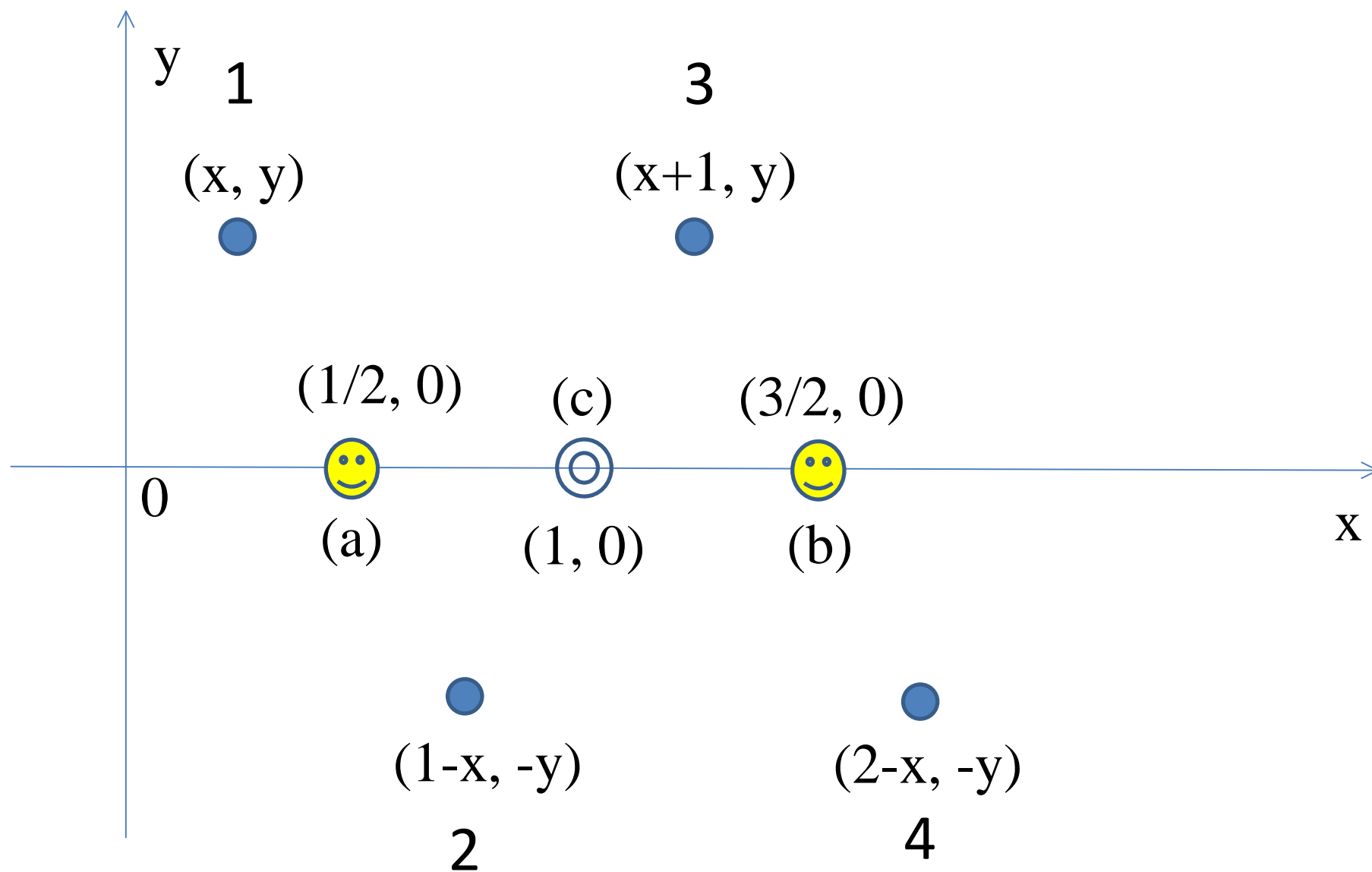


図2-10 並進と4回軸の組合せでできるト音記号の繰り返しパターン

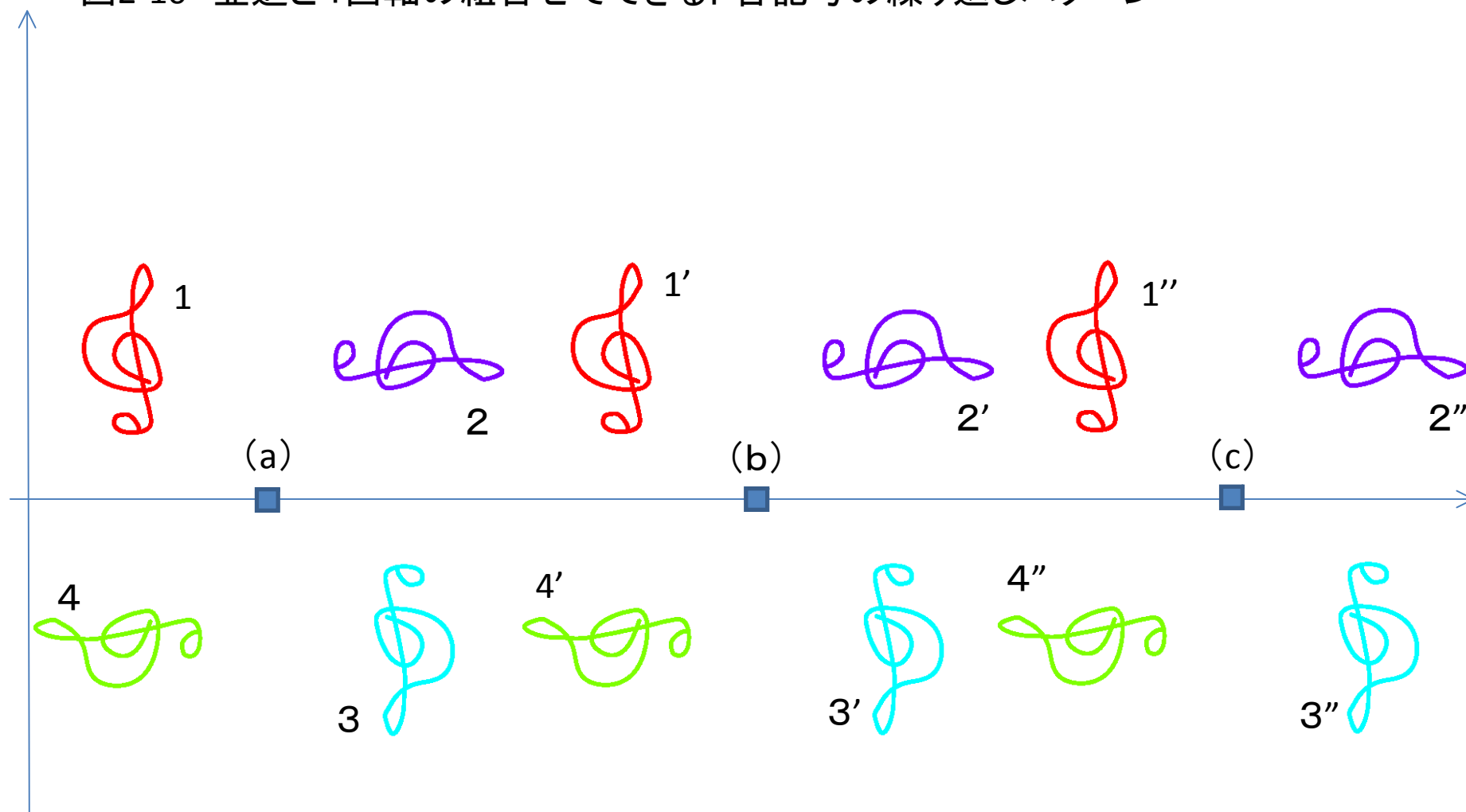


図2-11 4回軸はト音記号を一次元の列からはみ出させてしまう

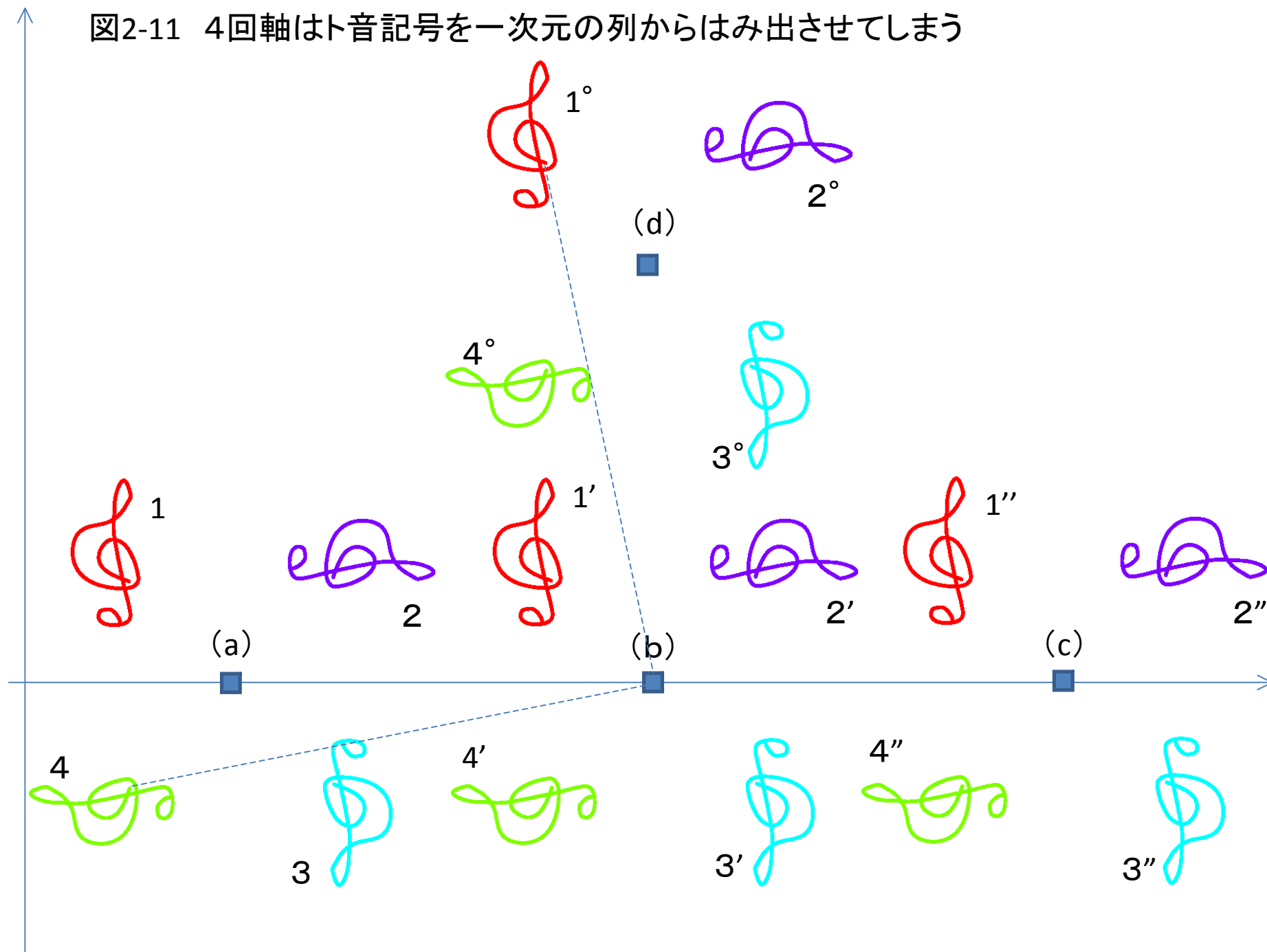


図2-12 映進操作によるト音記号の繰り返しパターン(p1a1)。

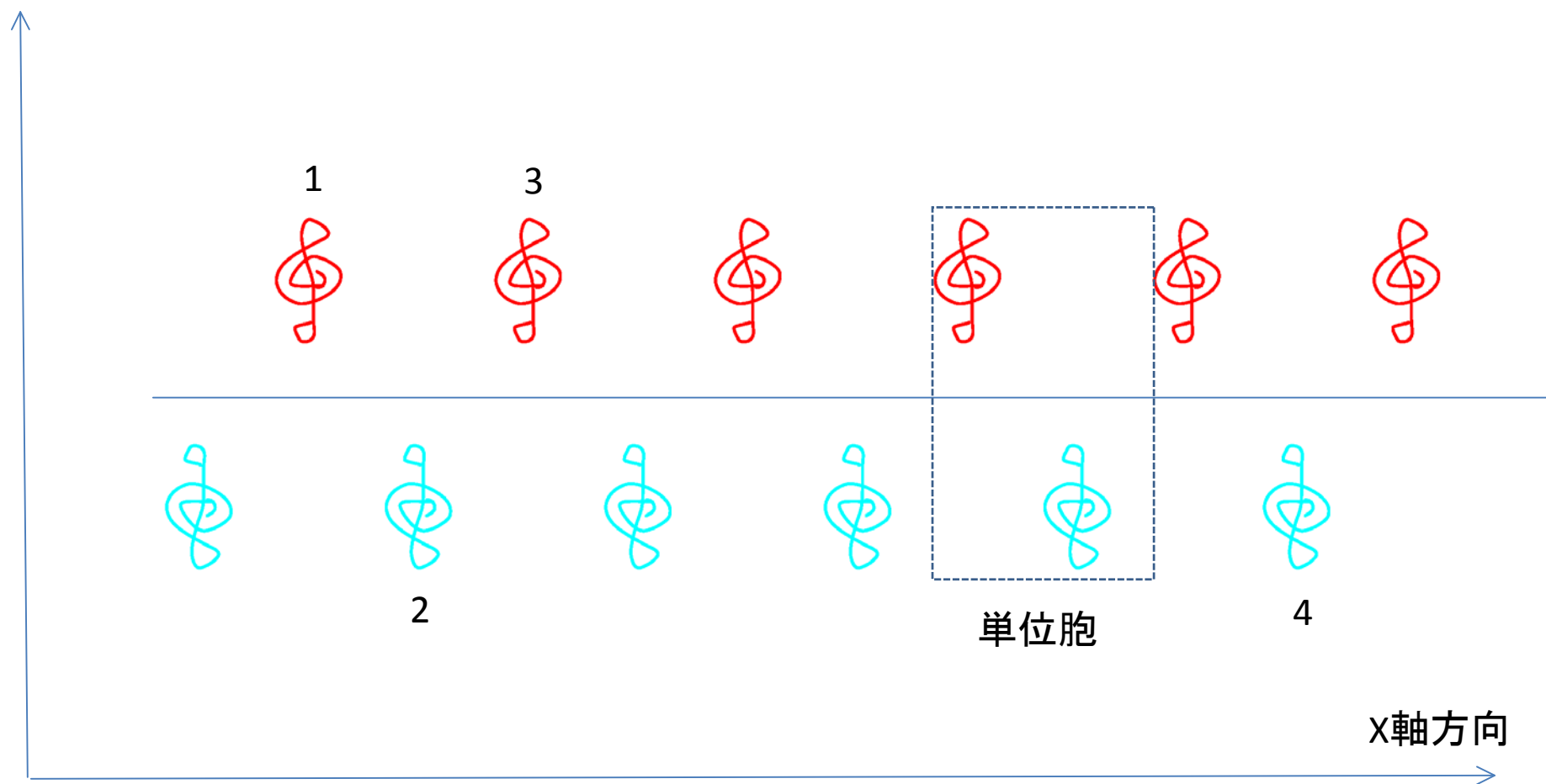


図2-13 pmm2の対称によって作られるト音記号の連続模様

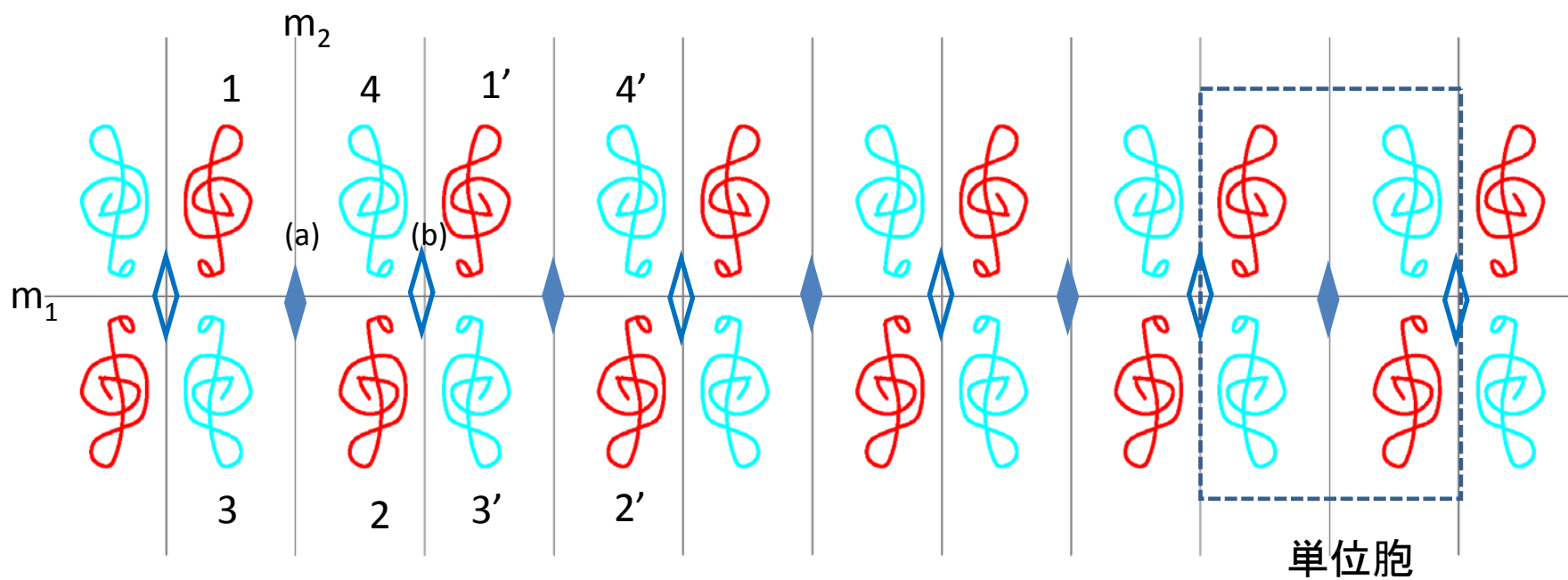


図2-14 pma2の対称で作られるト音記号の連続模様(pma2)

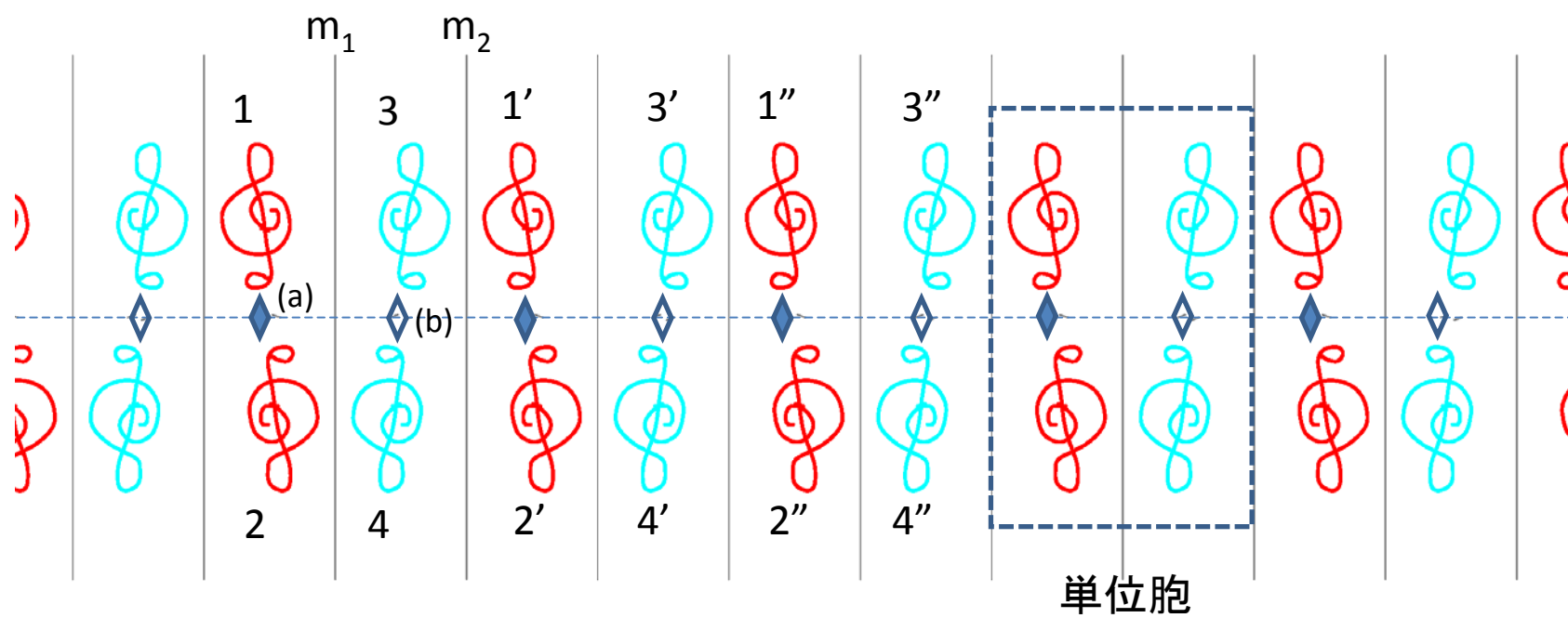


図2-15 種々の壁紙パターン

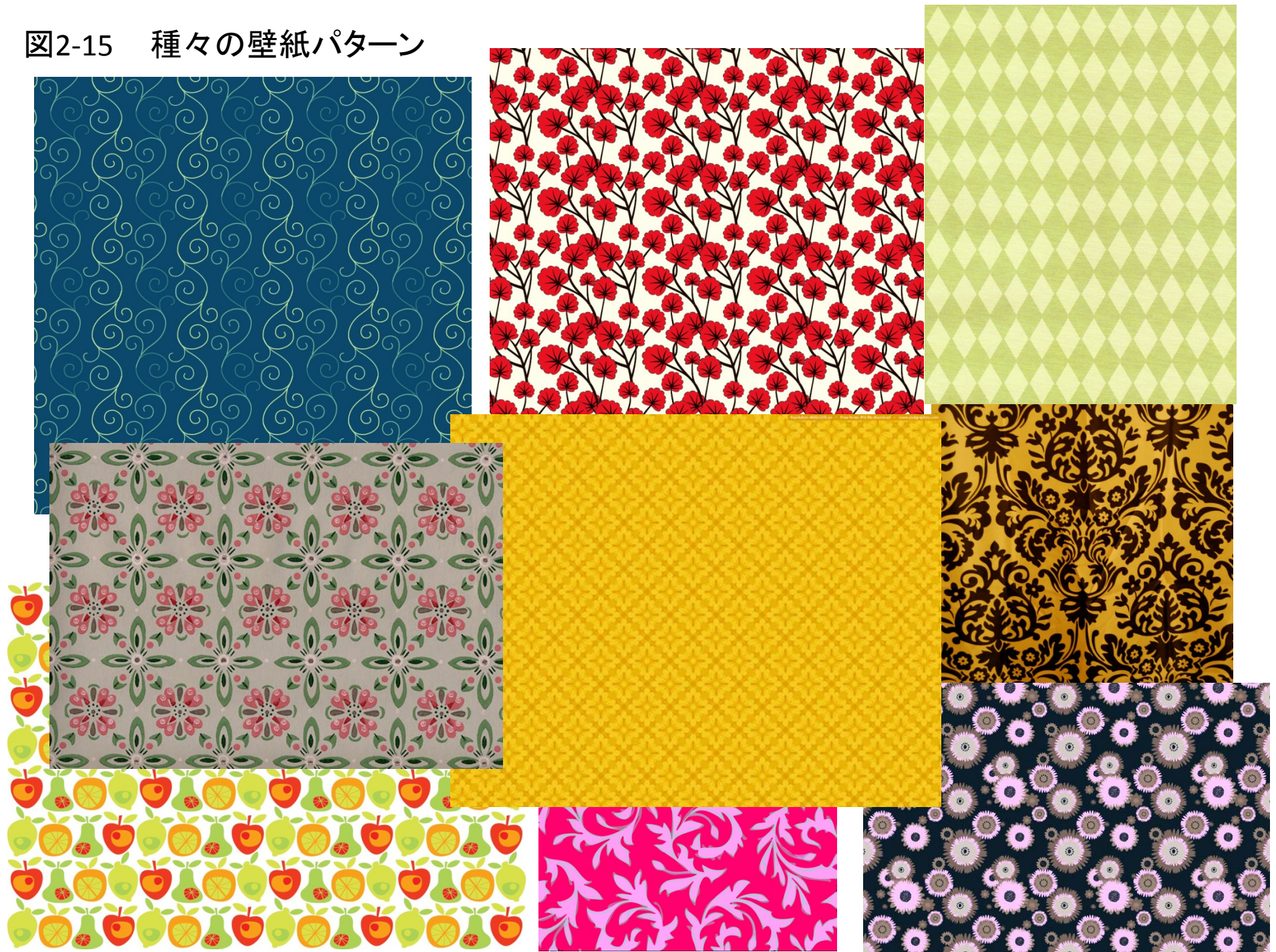


図2-16 最も単純な壁紙のパターン

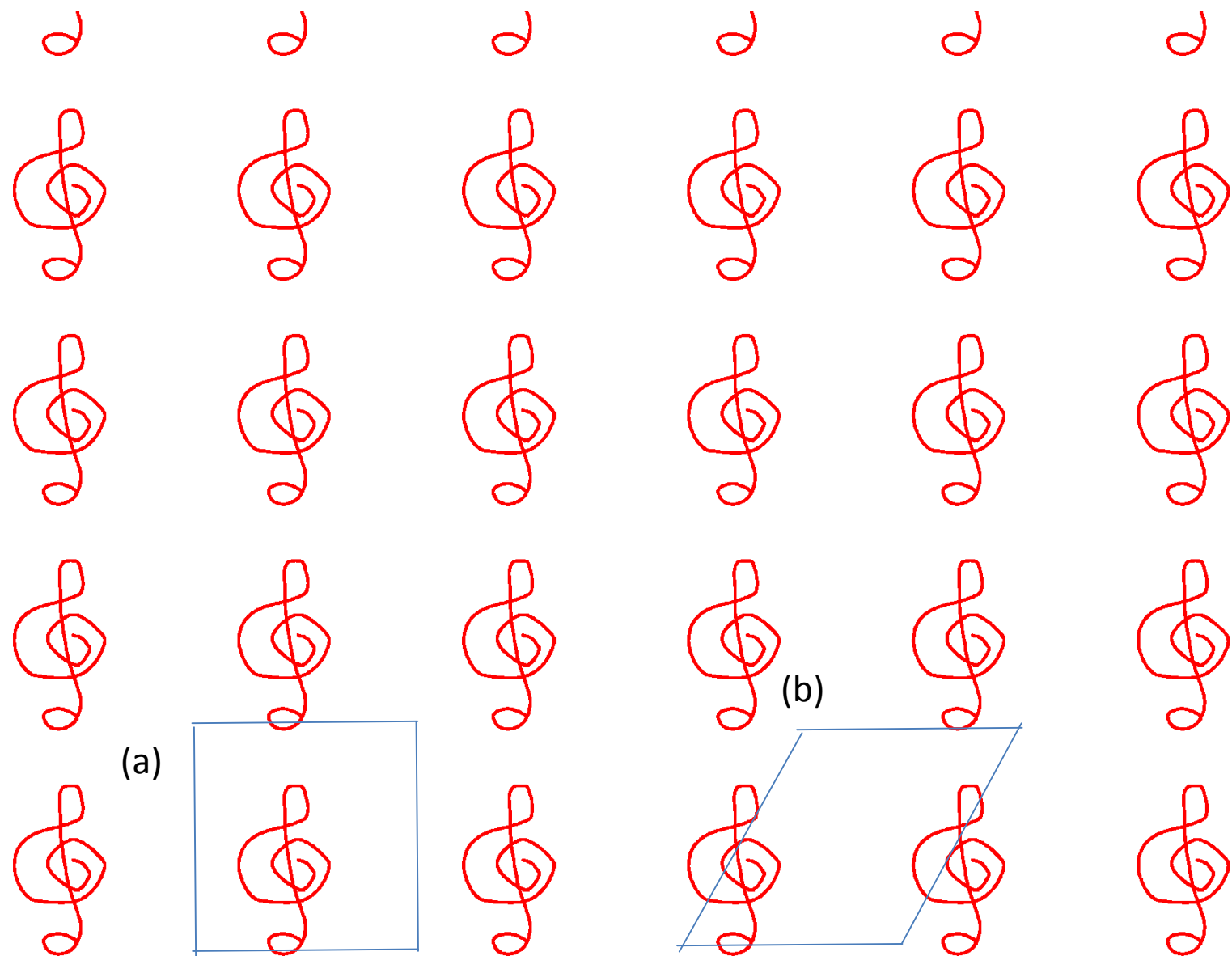


図2-17 最も単純な壁紙のパターン

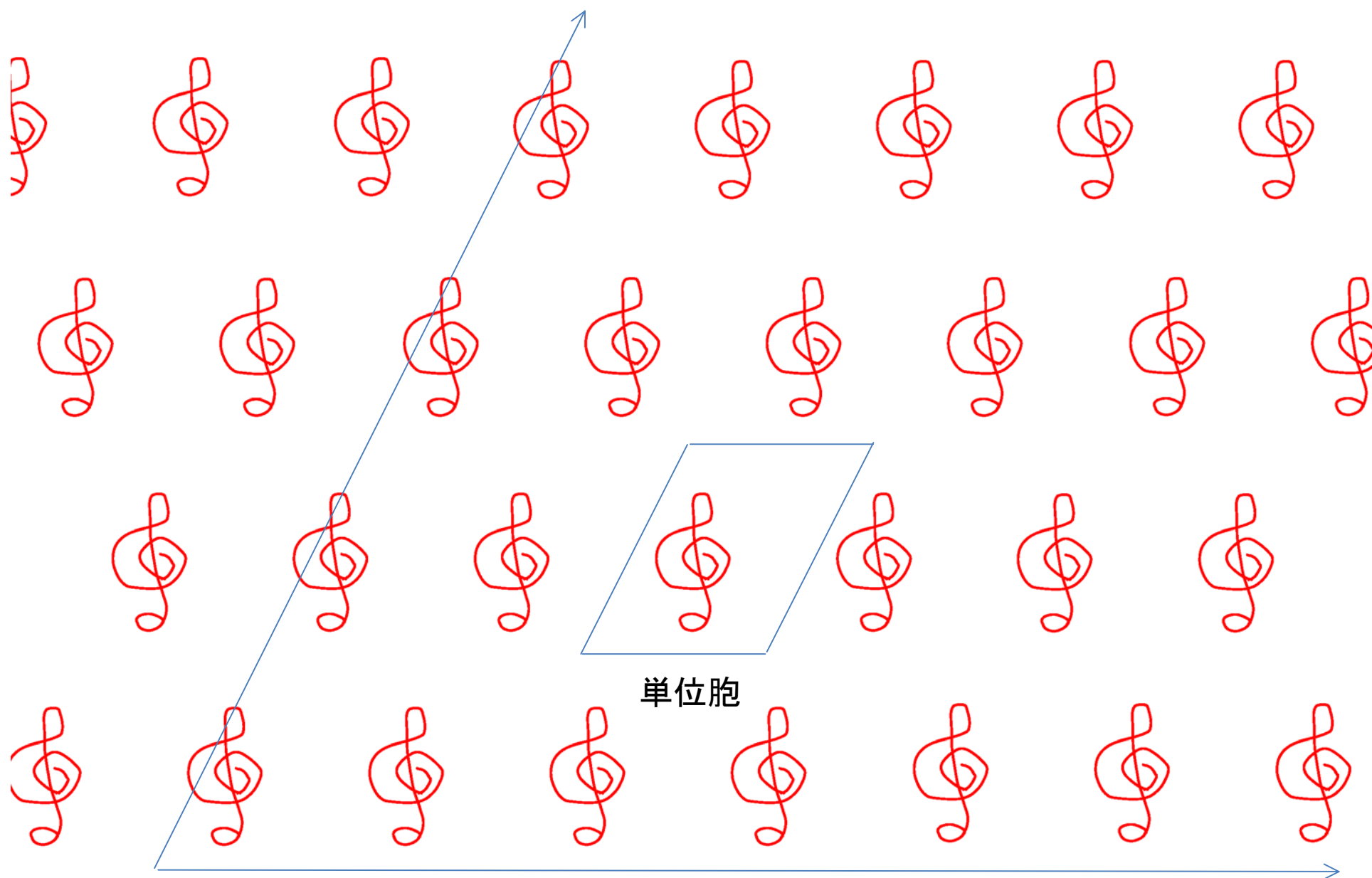


図2-18 並進と4回対称で二次元規則配列をしたト音記号

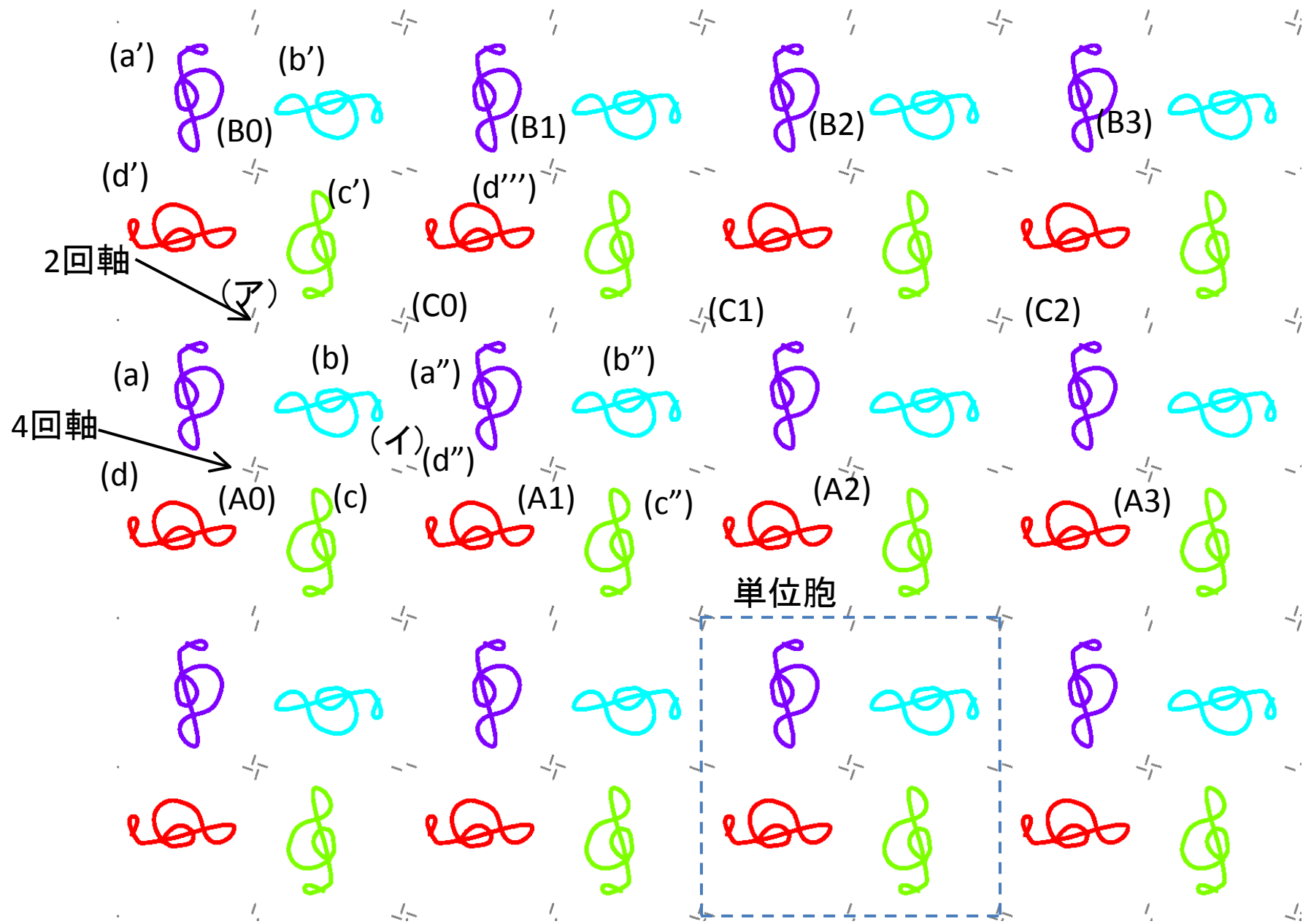


図2-19 x方向の並進と4回軸の組合せで、y方向の並進と4回軸が出現する

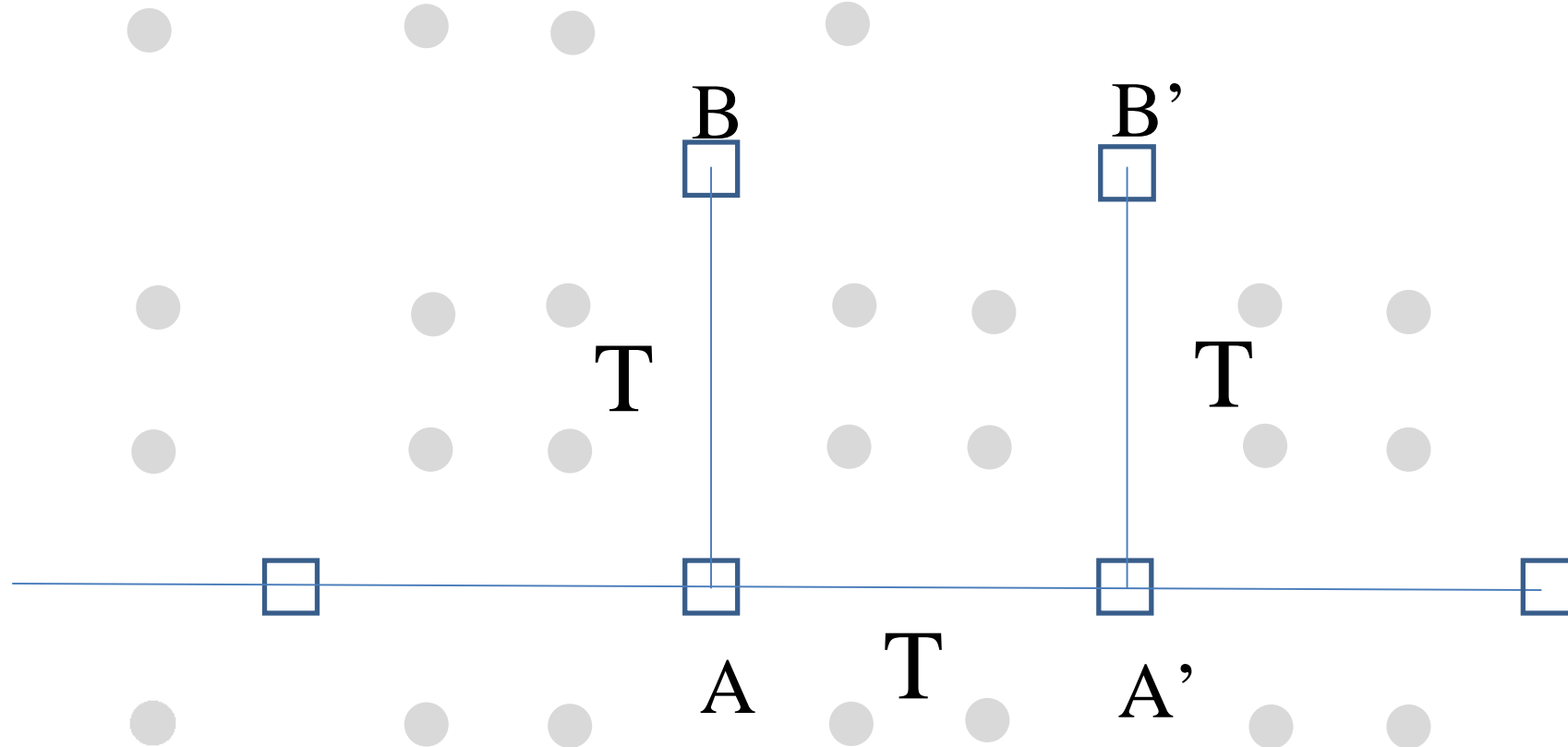


図2-20 x方向の並進と4回軸の対称操作のみから生じる二次元平面上の並進、2回対称および4回対称。回転対称軸に種類と位置を示した。

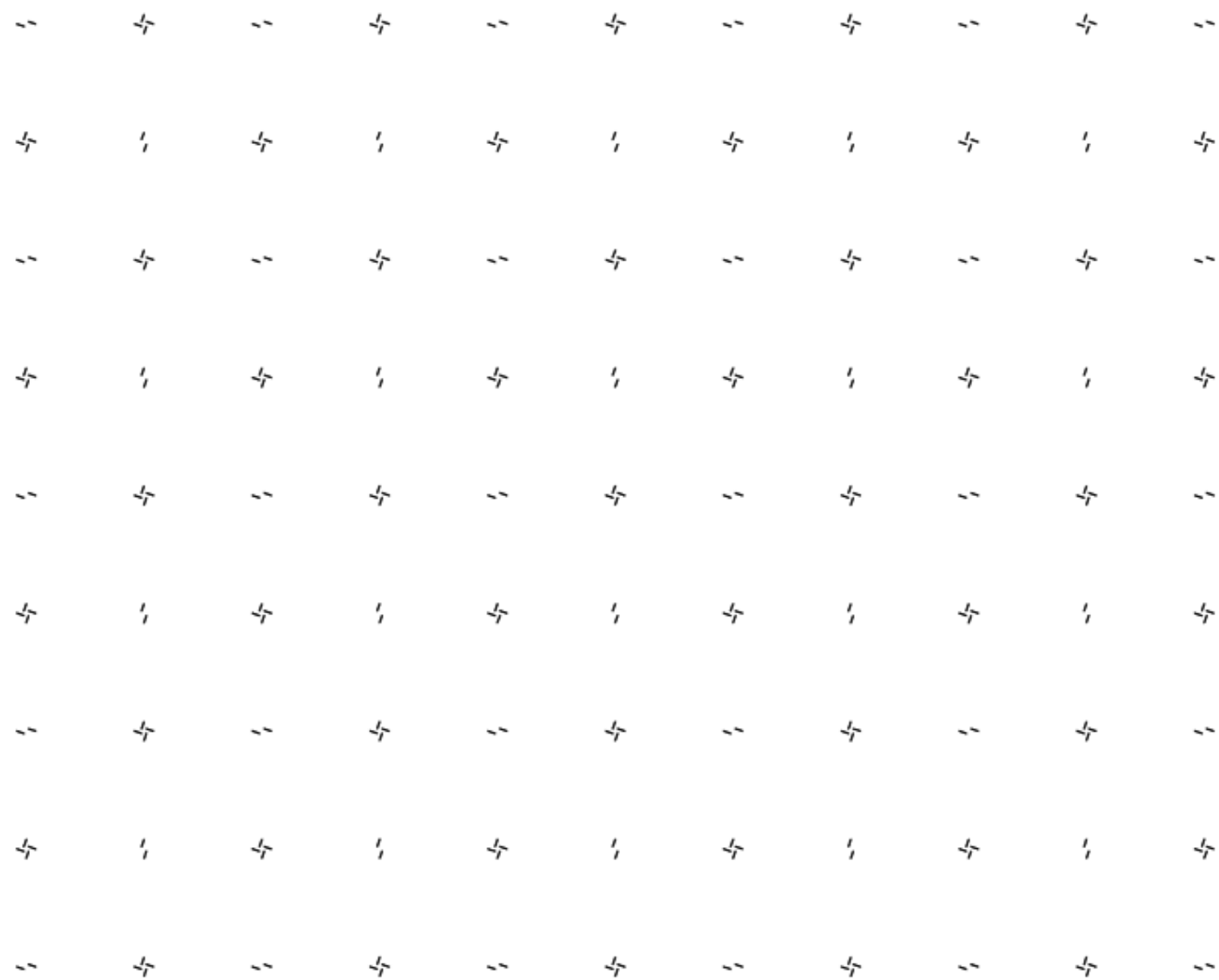


図2-21 並進と3回軸の組合せで生成する新たな3回軸同士は並進操作を満足する

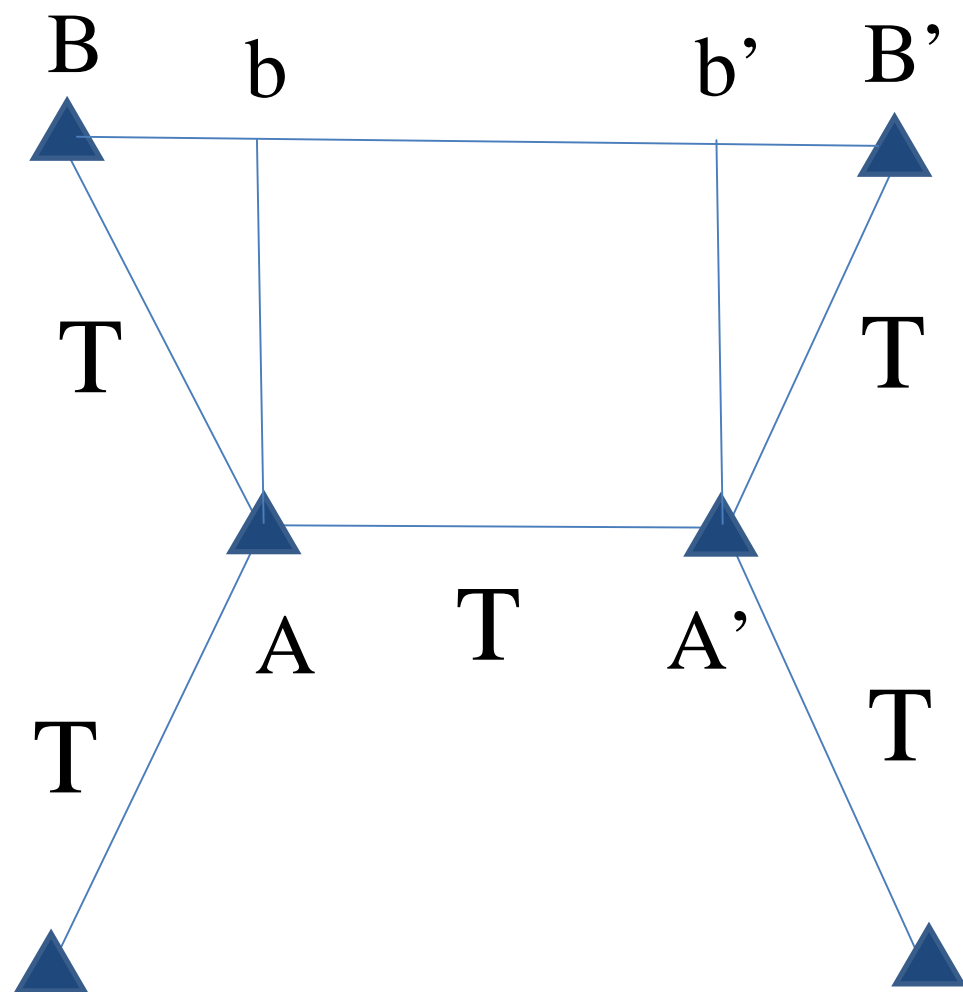


図2-22 並進と3回軸の組合せで作られるト音記号の二次元繰り返しパターン

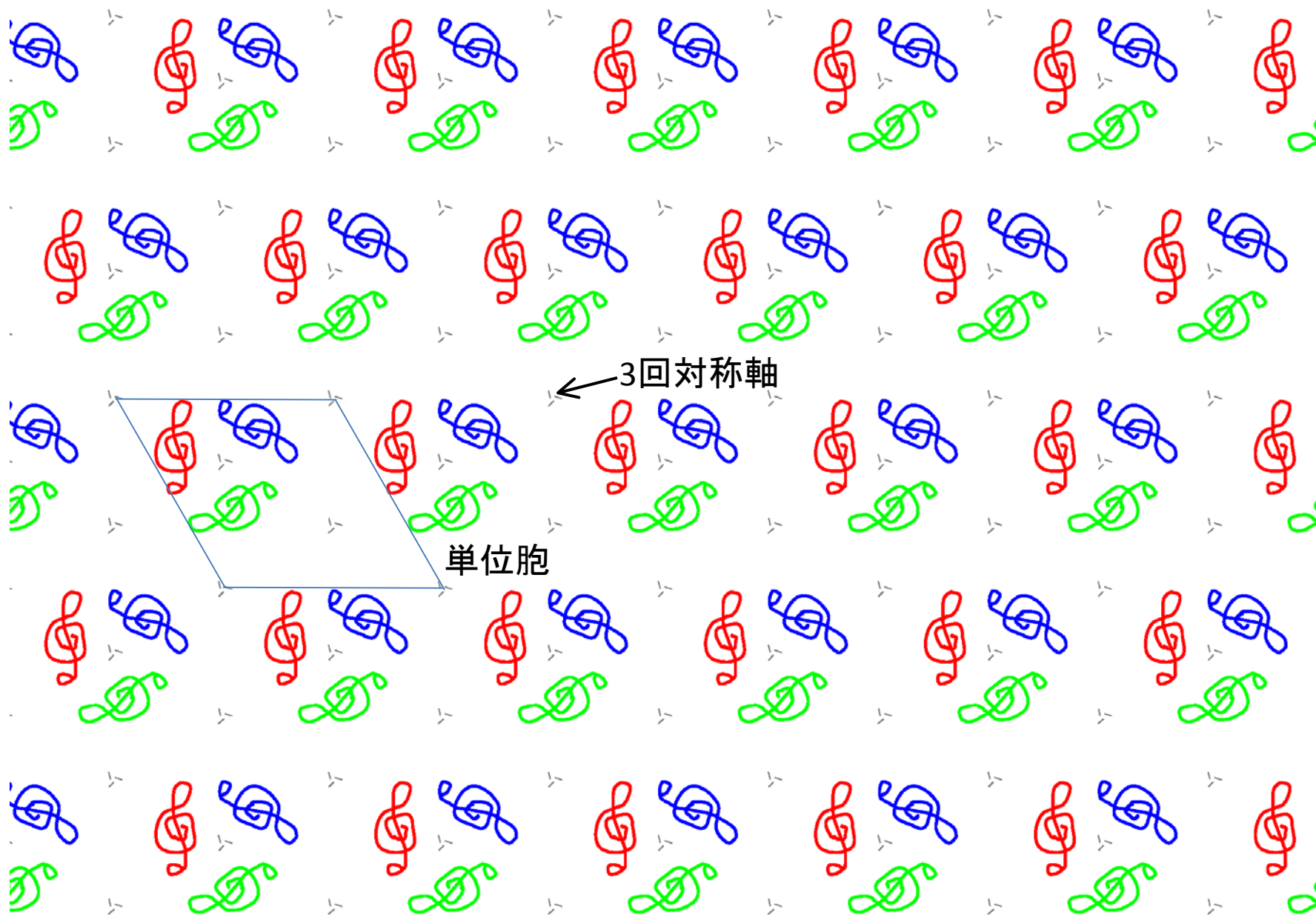


図2-23 並進操作と3回対称から生成し、二次元平面に広がる 3回対称軸

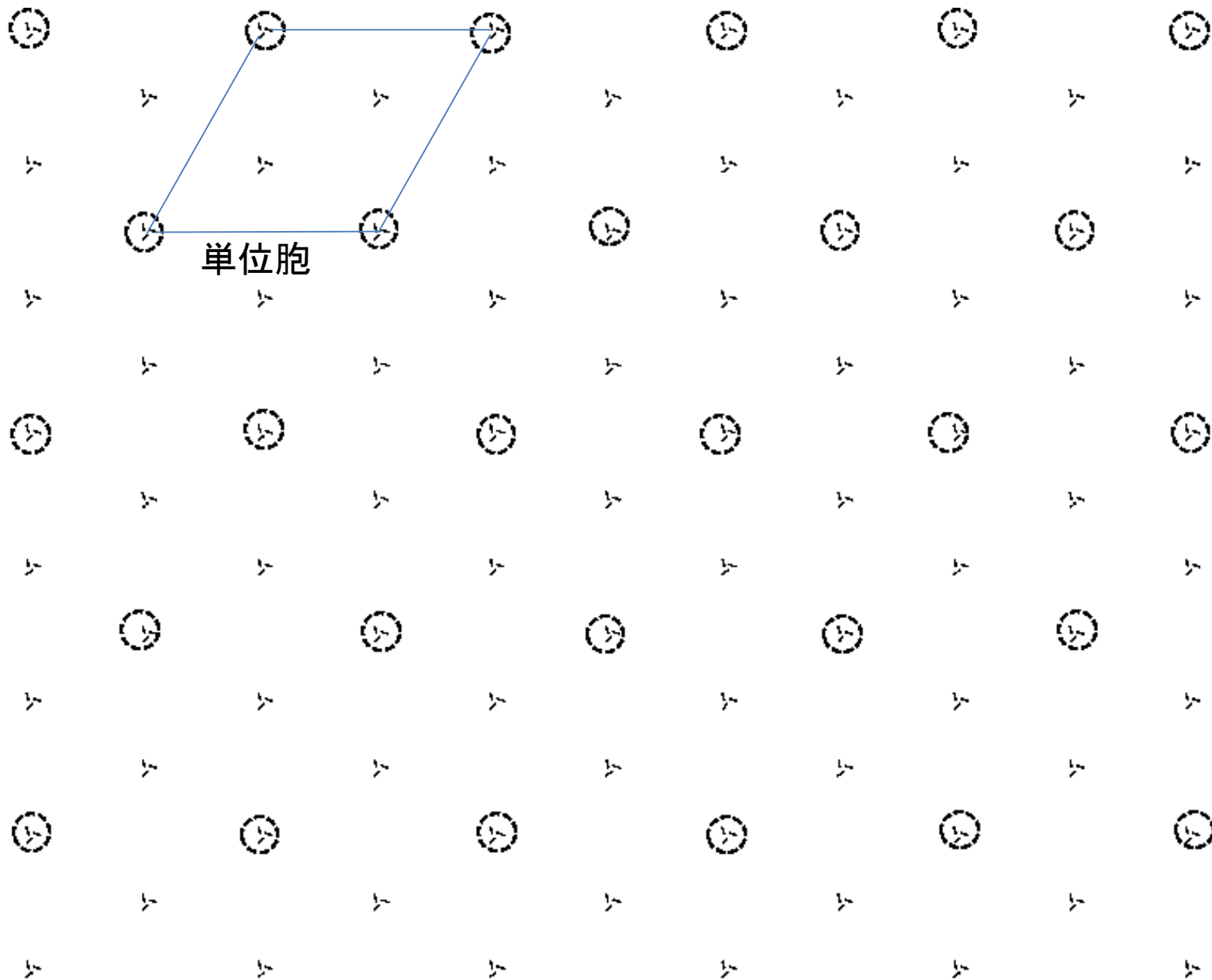


図2-24 並進と回転対称で新たに作られる回転対称軸の位置

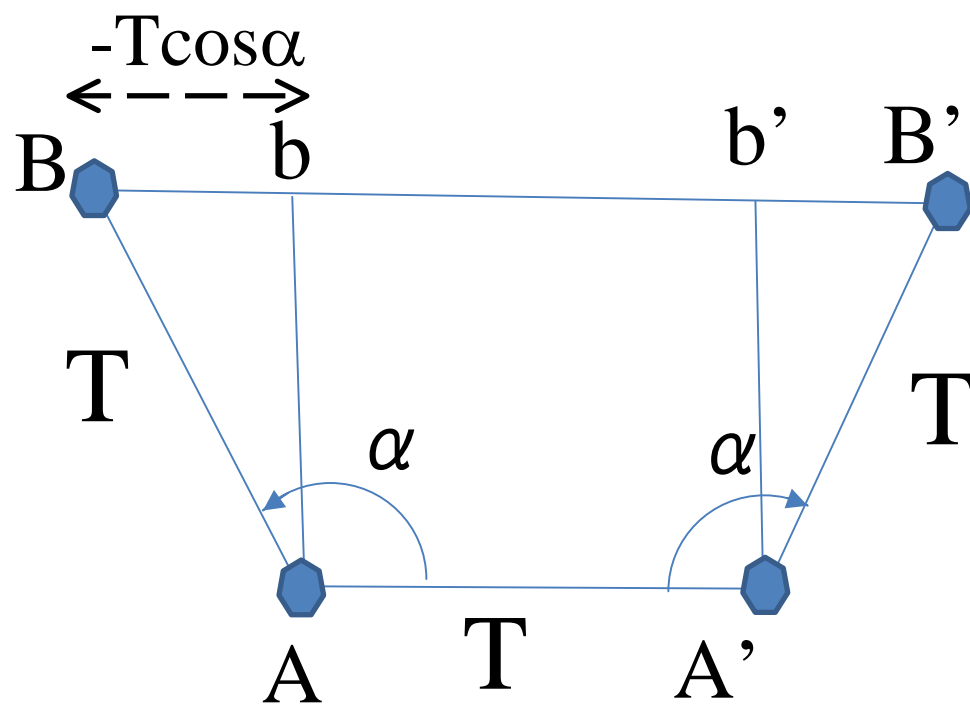


表 2-1 式(2-1)を満足する整数 n と角度 α の組合せ

n	$\cos \alpha$	$\alpha (^{\circ})$	$BB'=T(1-2\cos \alpha)$
-1	1	0	-T
0	1/2	60	0
1	0	90	T
2	-1/2	120	2T
3	-1	180	3T

図2-25 並進操作だけで二次元的に規則配列したト音記号

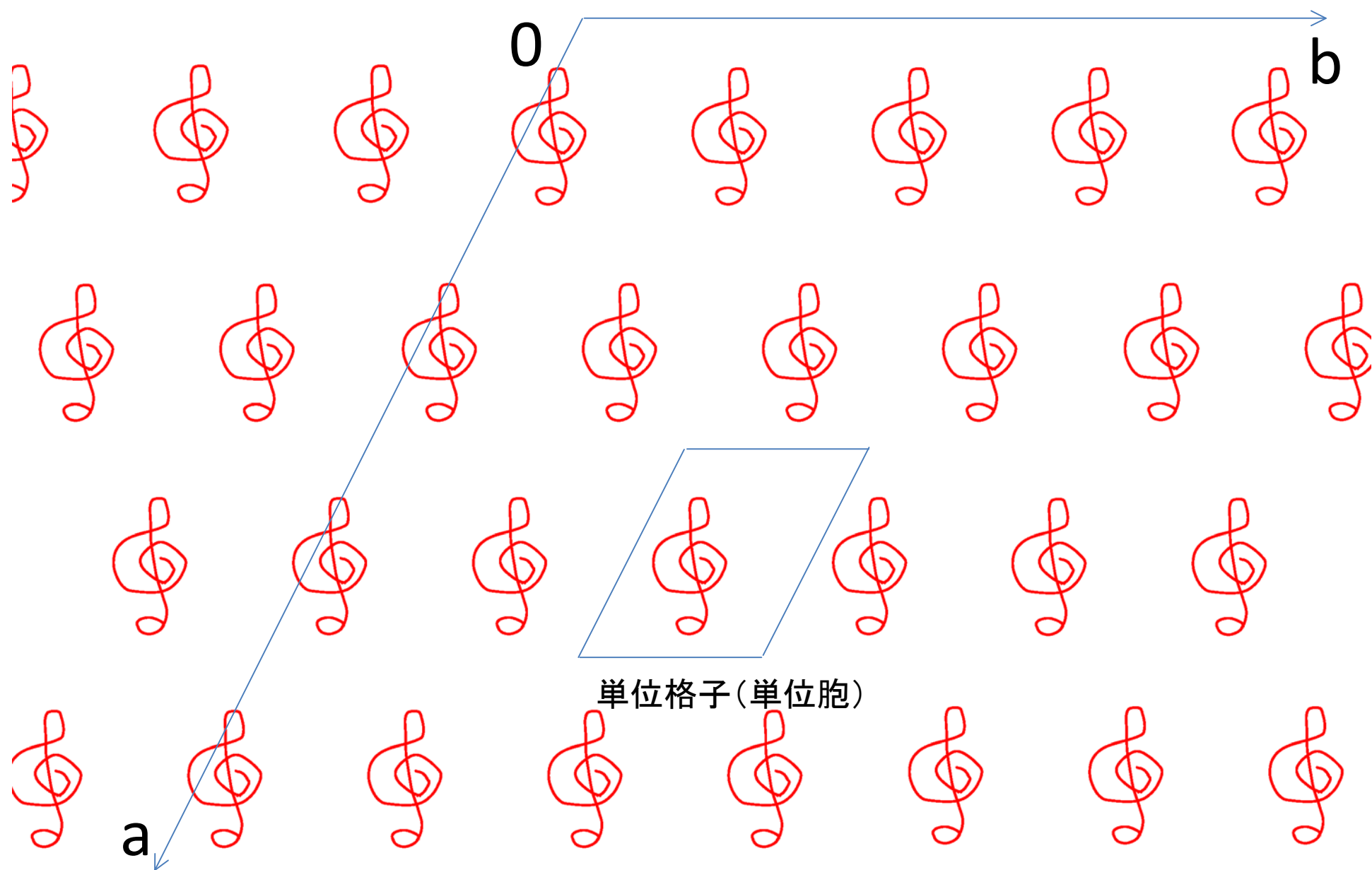


図2-26 ト音記号内の代表点の配列

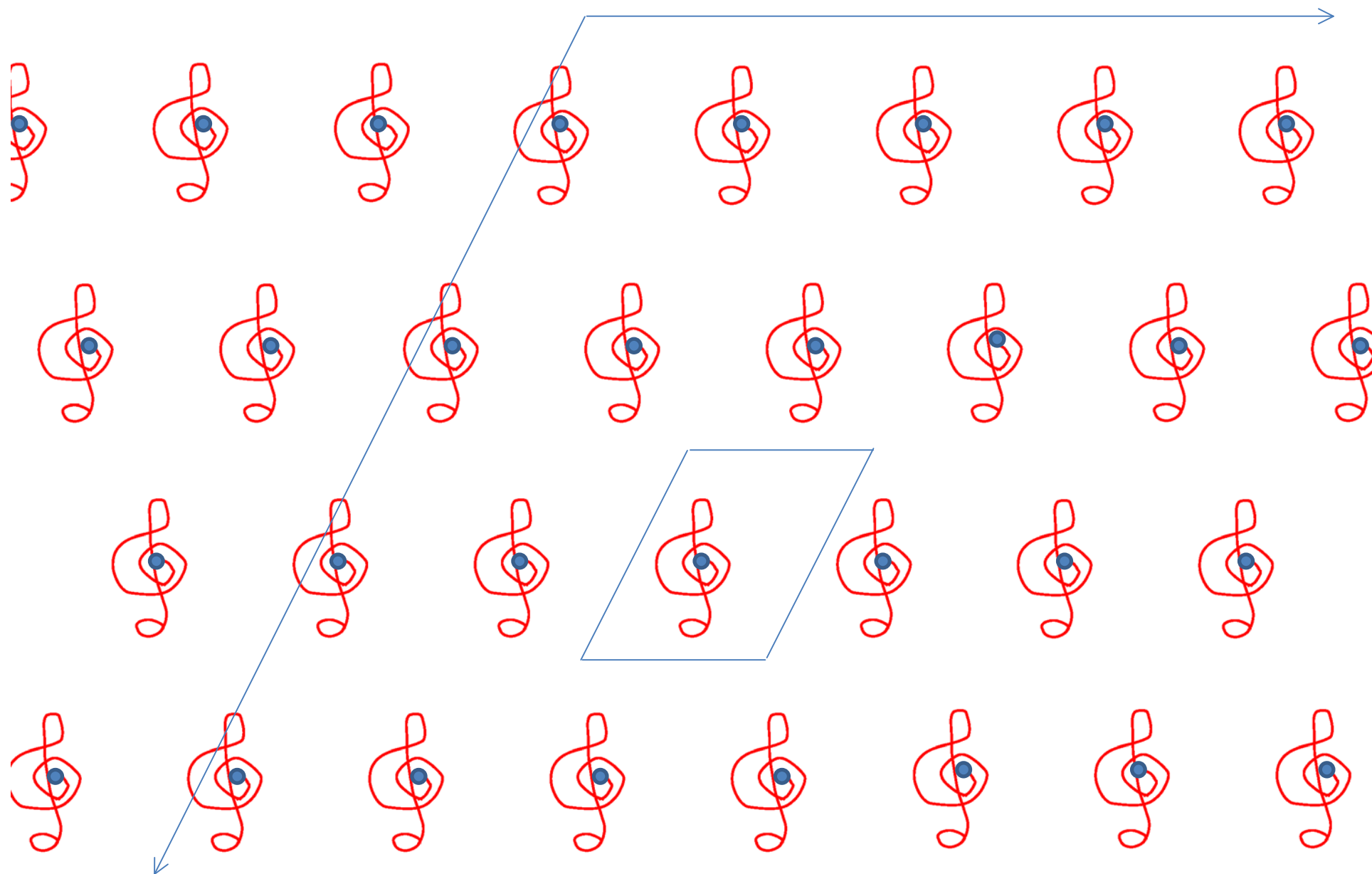


図2-27 代表点からなる格子。各格子点に単位胞に相当する領域を貼りつければ、二次元空間(面)をすべて隙間なく、また重なりなく埋め尽くすことができる。

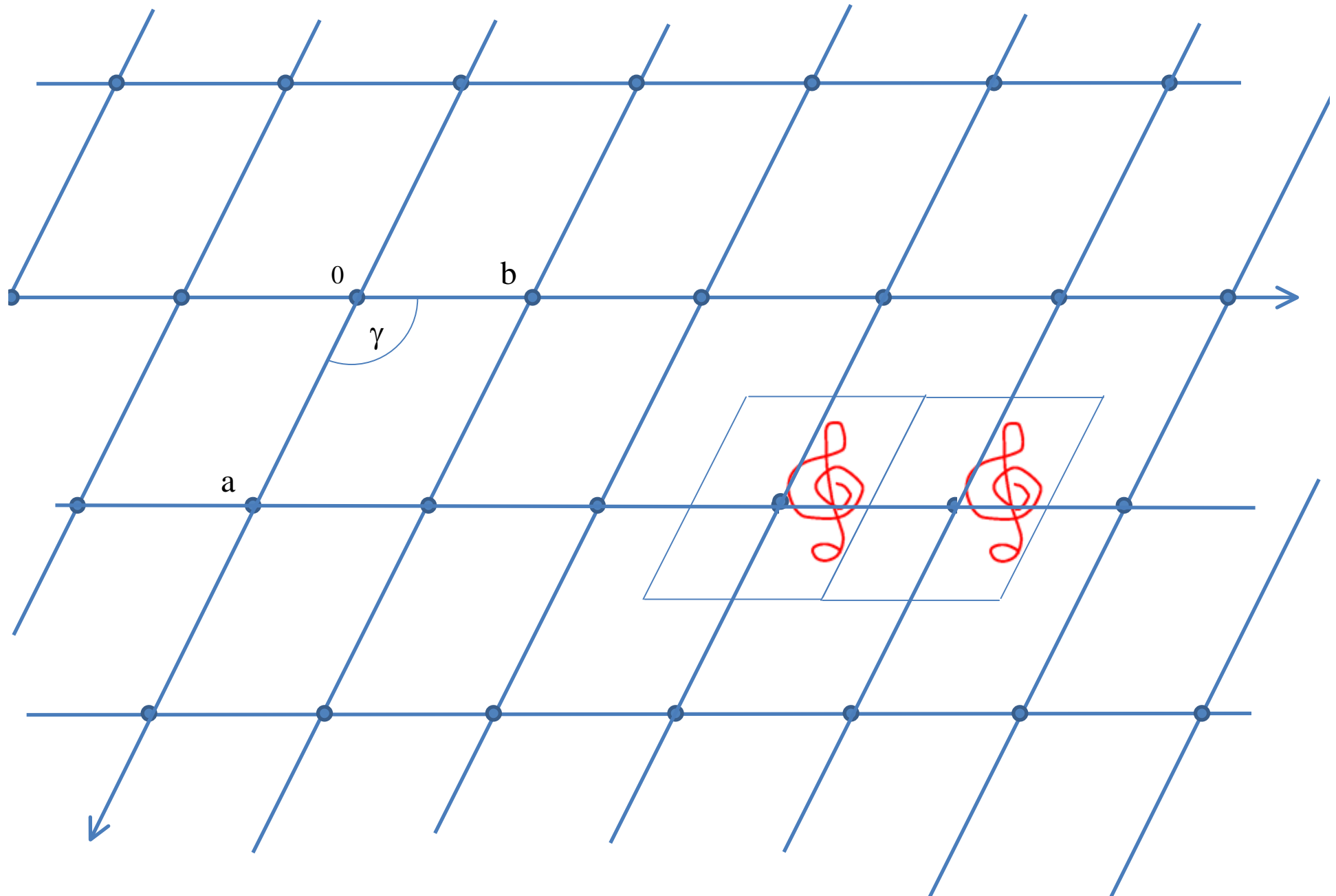


図2-28 単位格子中に2回対称で関係付けられる2個のト音記号がある場合。2回軸を格子点に一致させると、斜交格子を取ることができる。

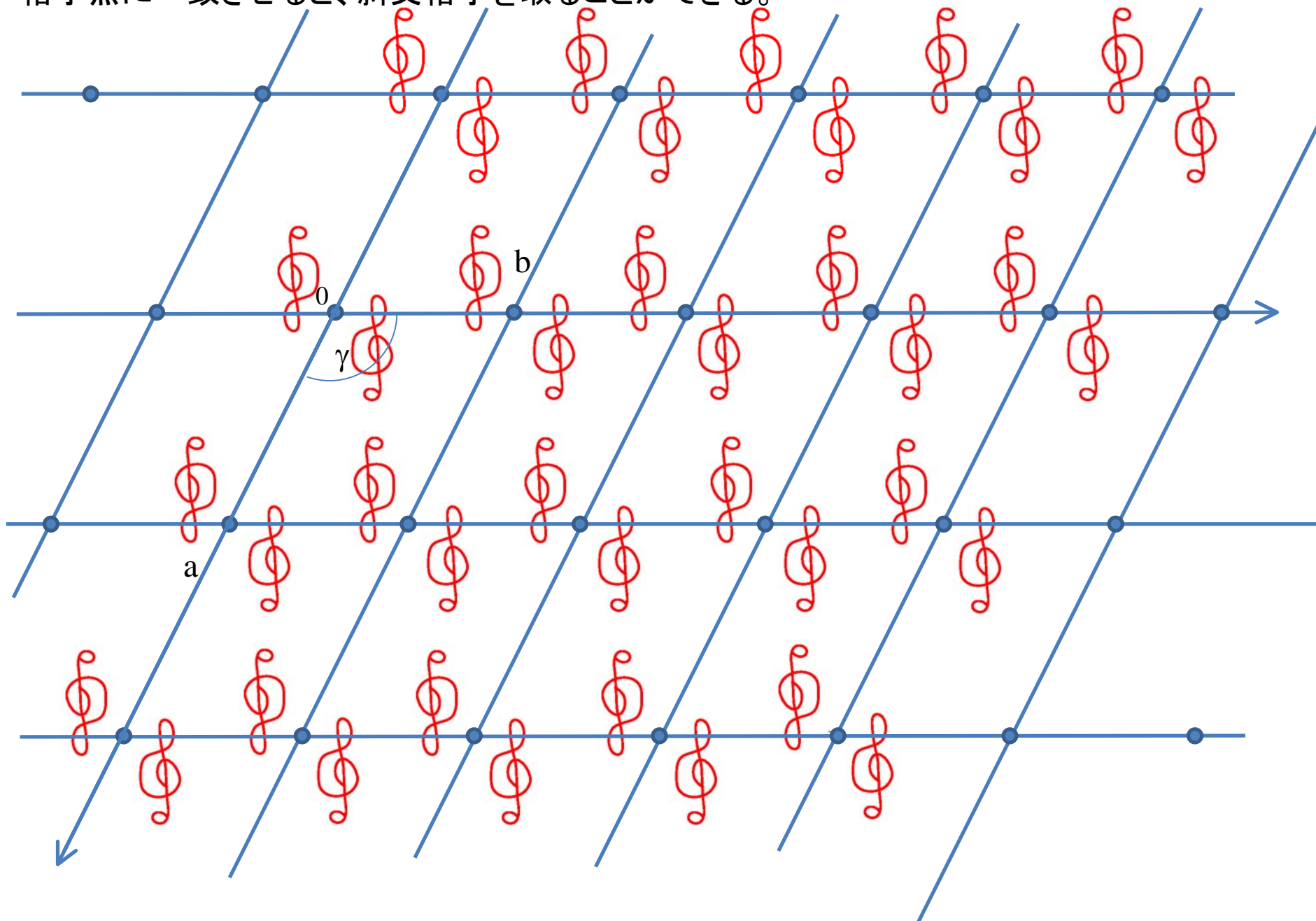


図2-29 長方形格子(a)、正方格子(b)および六角形格子(c)

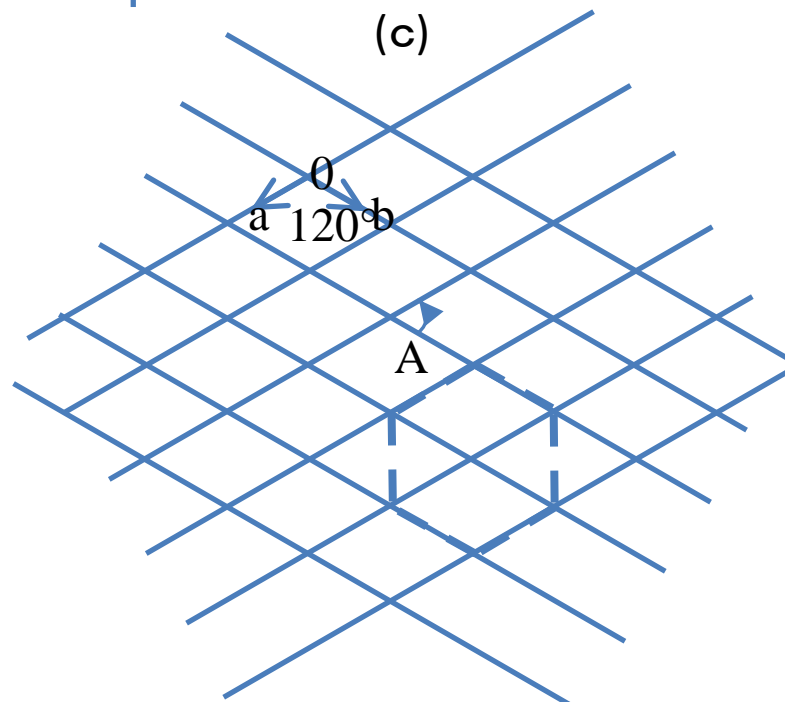
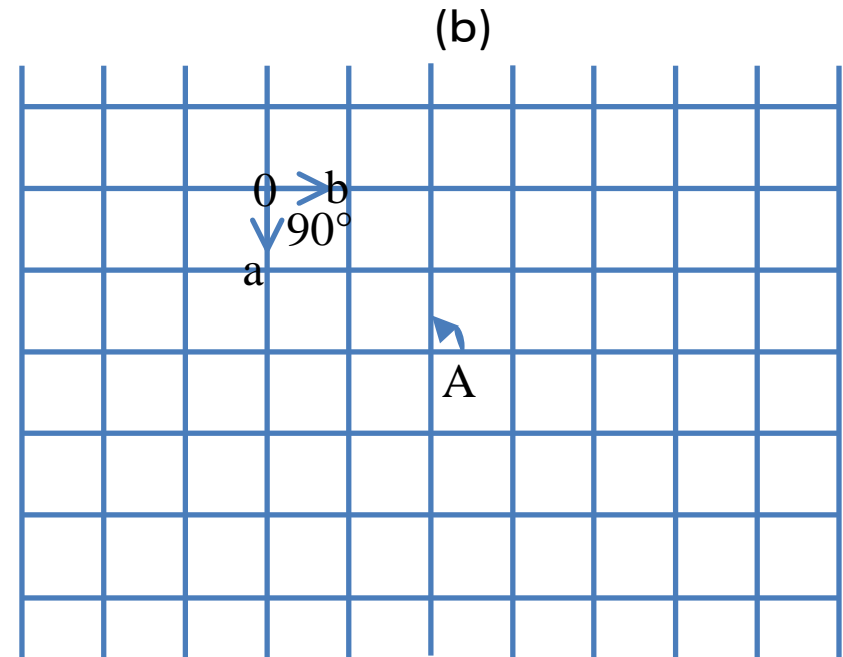
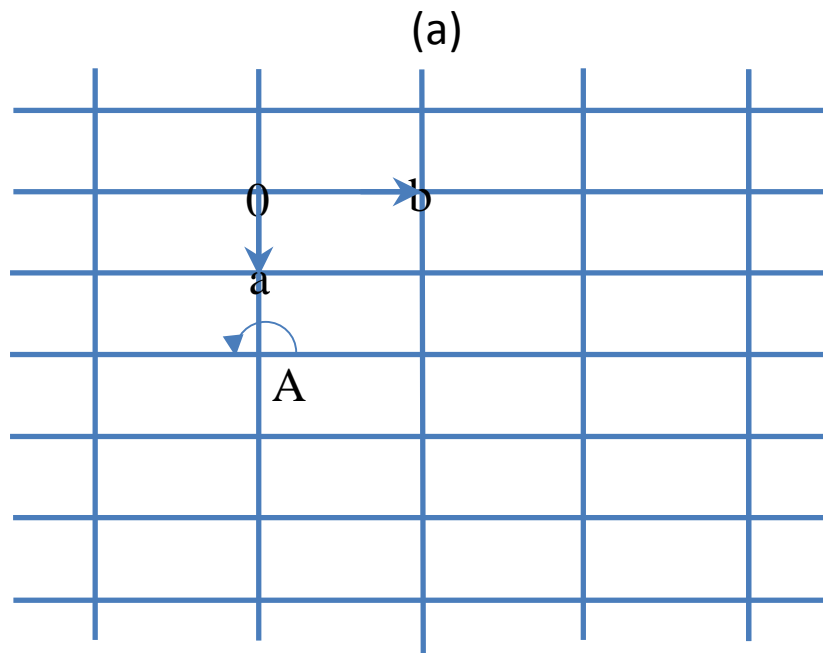


图2-30 有心格子

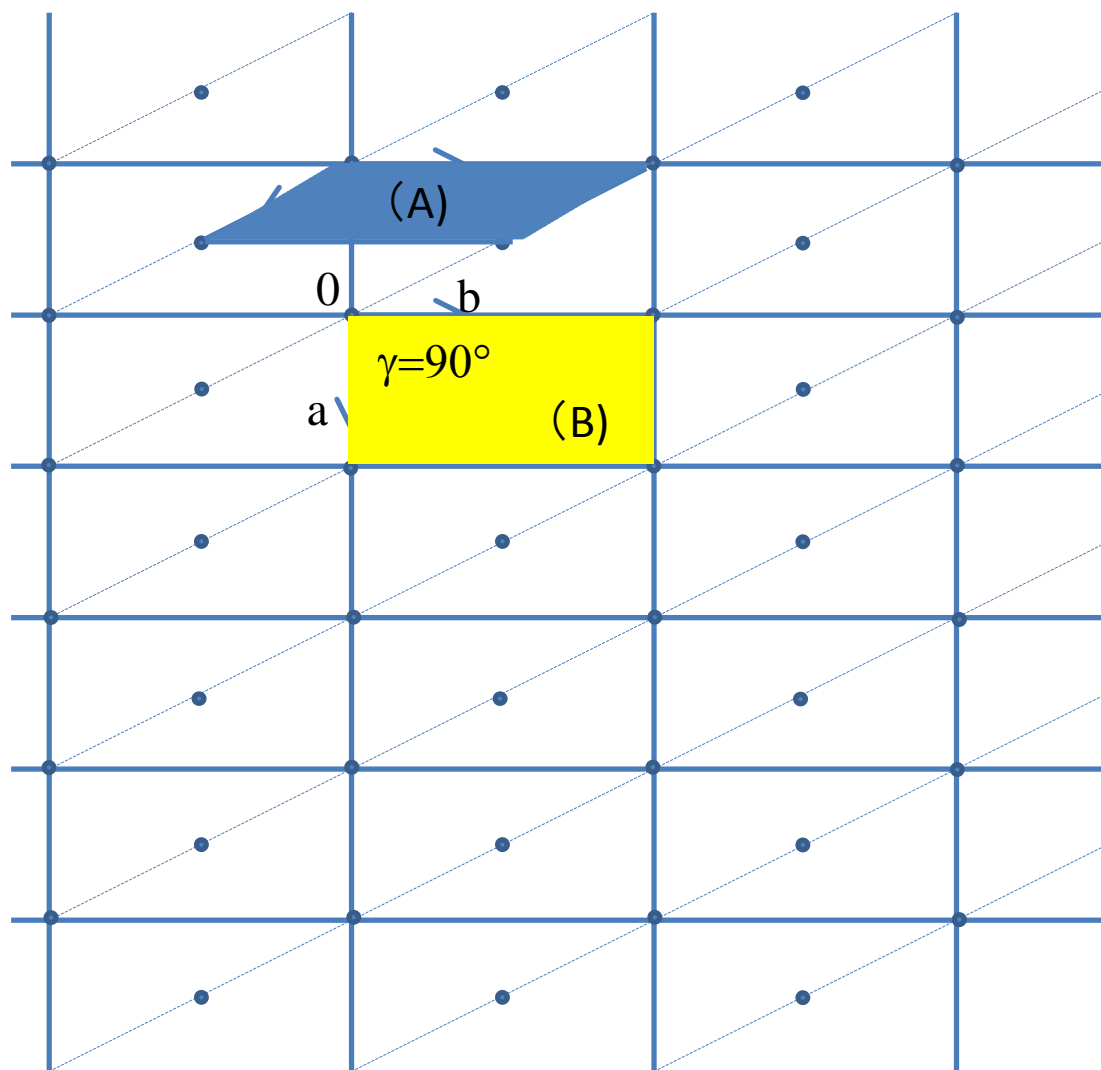


表 2-2

HM記号	回転軸	格子の型		
p1	1	平行四辺形		
P2	2	平行四辺形		
pm	0	長方形		
pg	0	長方形		
cm	0	長方形(有心)		
p2mm	2	長方形		
p2gg	2	長方形		
p2mg	2	長方形		
c2mm	2	長方形(有心)		
p4	4, 2	正方形		
p4mm	4,2	正方形		
p4gm	4,2	正方形		
p3	3	六角形		
p31m	3	六角形		
p3m1	3	六角形		
p6	6,3,2	六角形		
p6mm	6,3,2	六角形		

図2-31 p2 のパターン

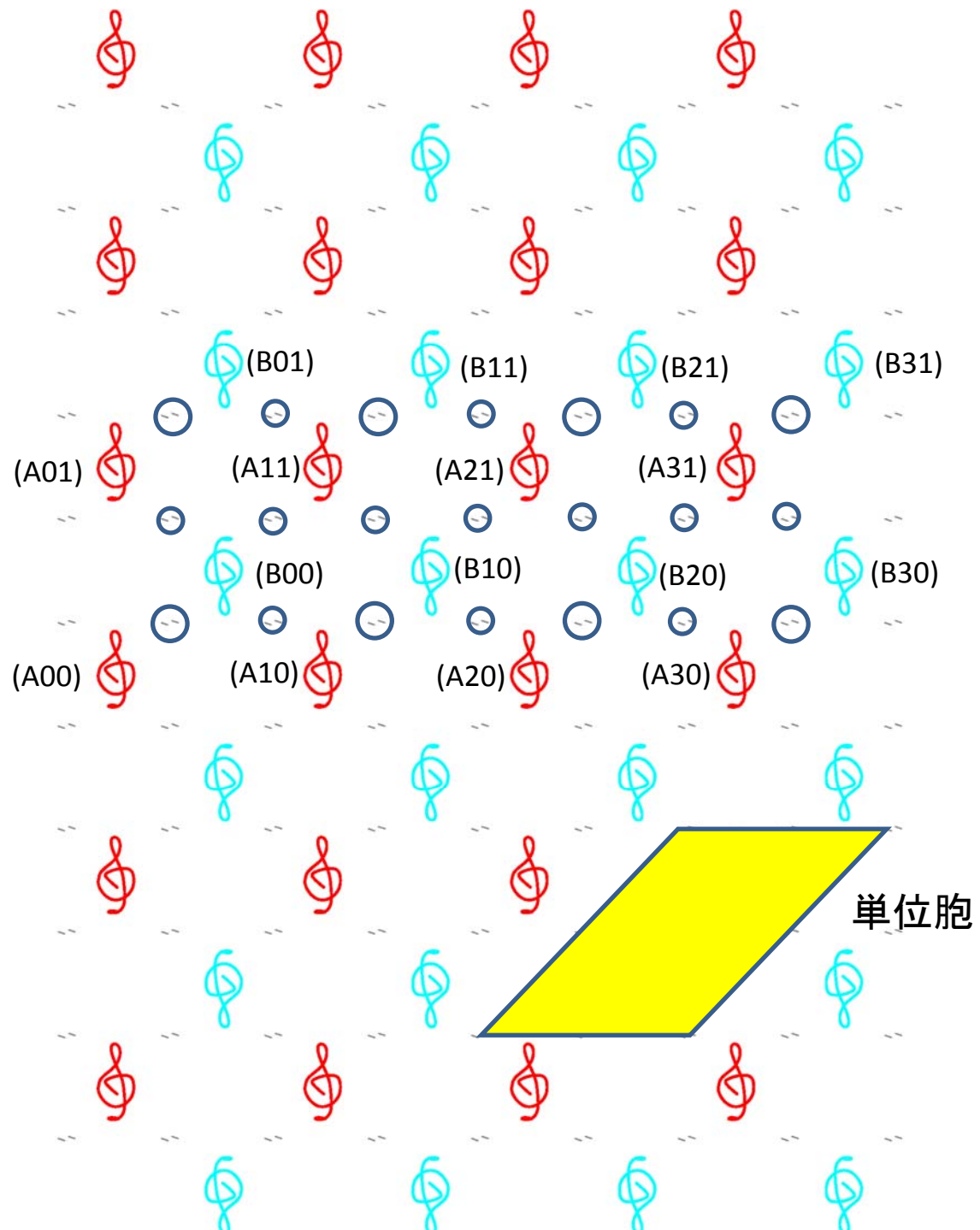


图2-32 pm

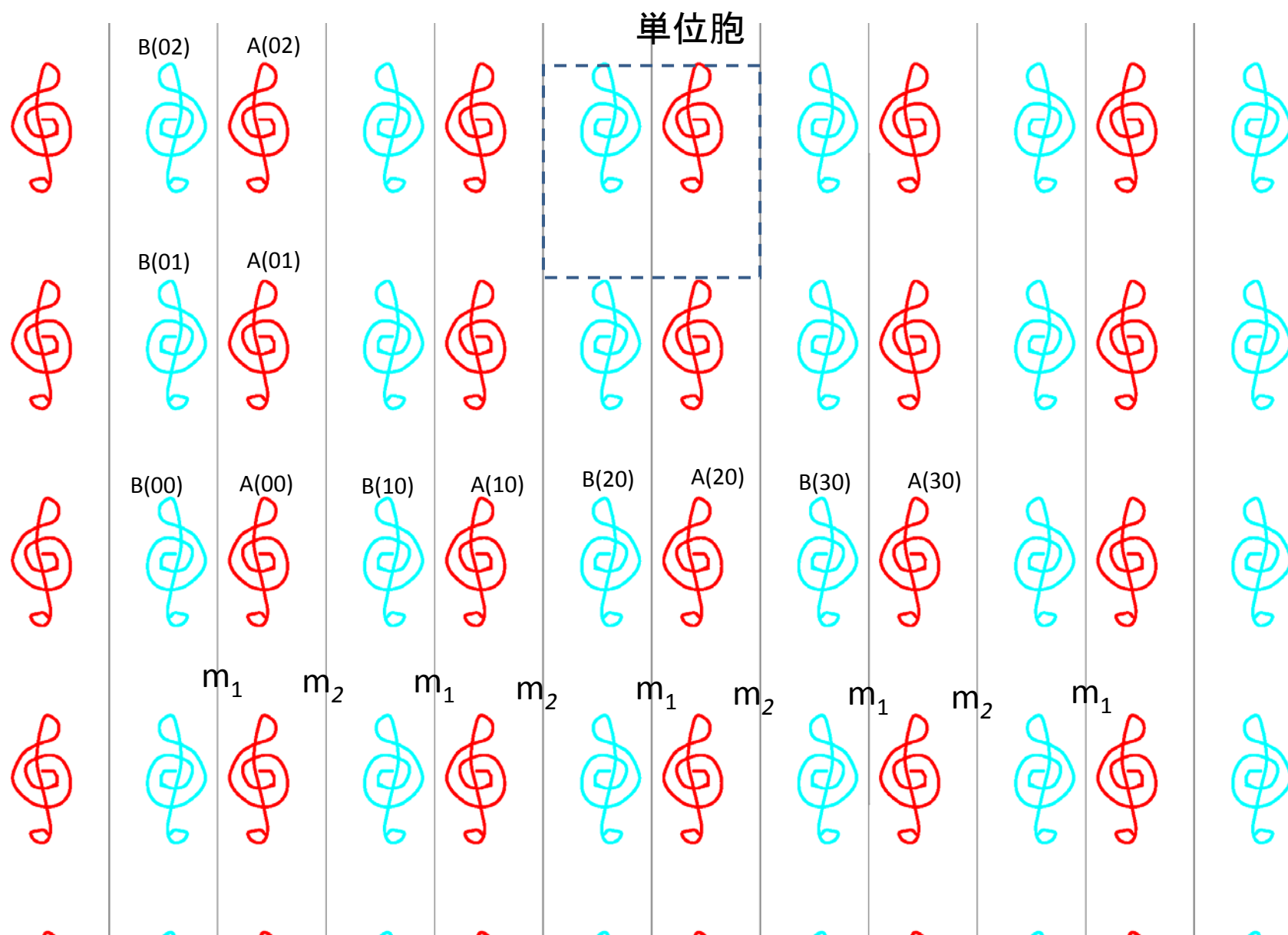


图2-33

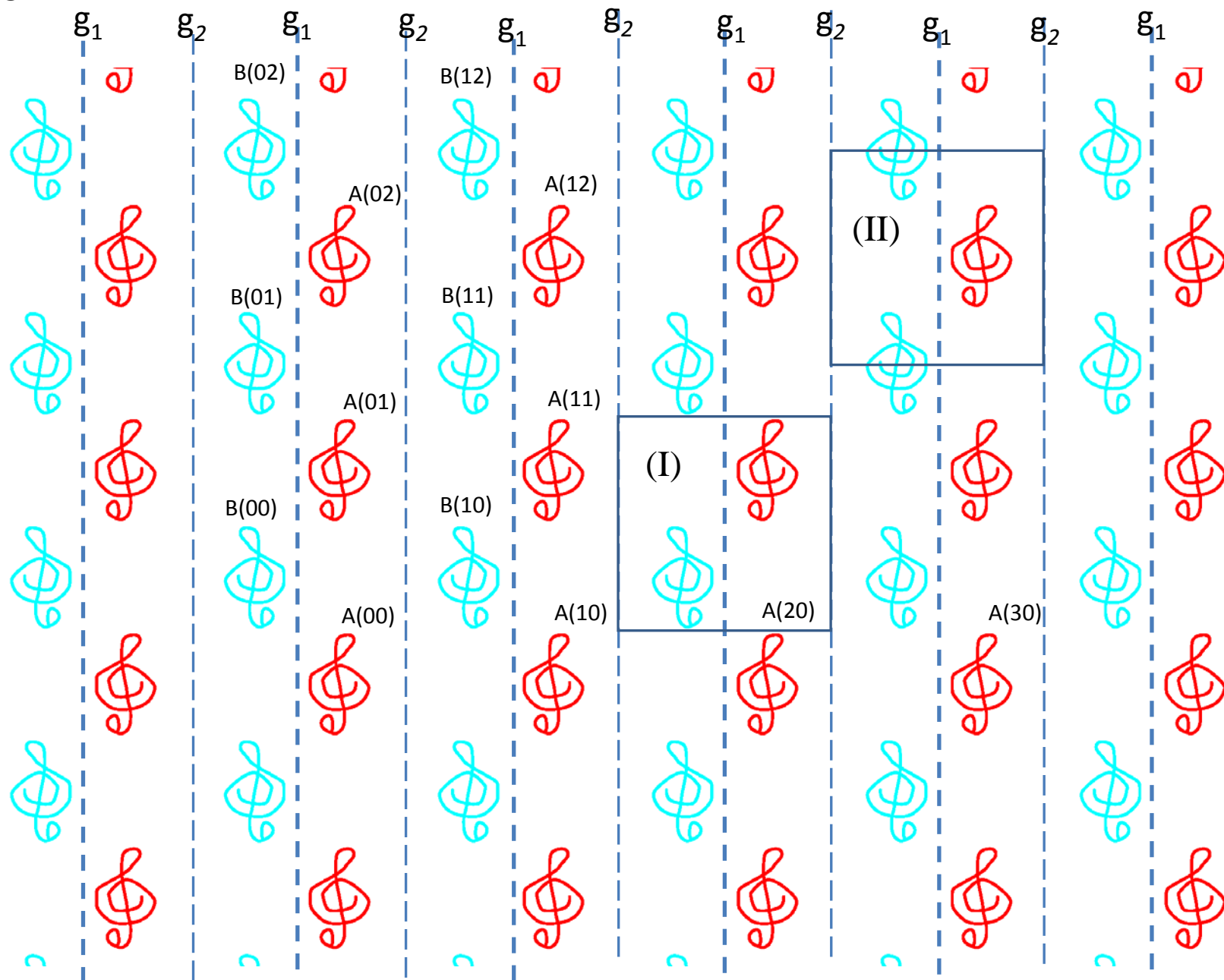


图2-34 p2mm (pmm)

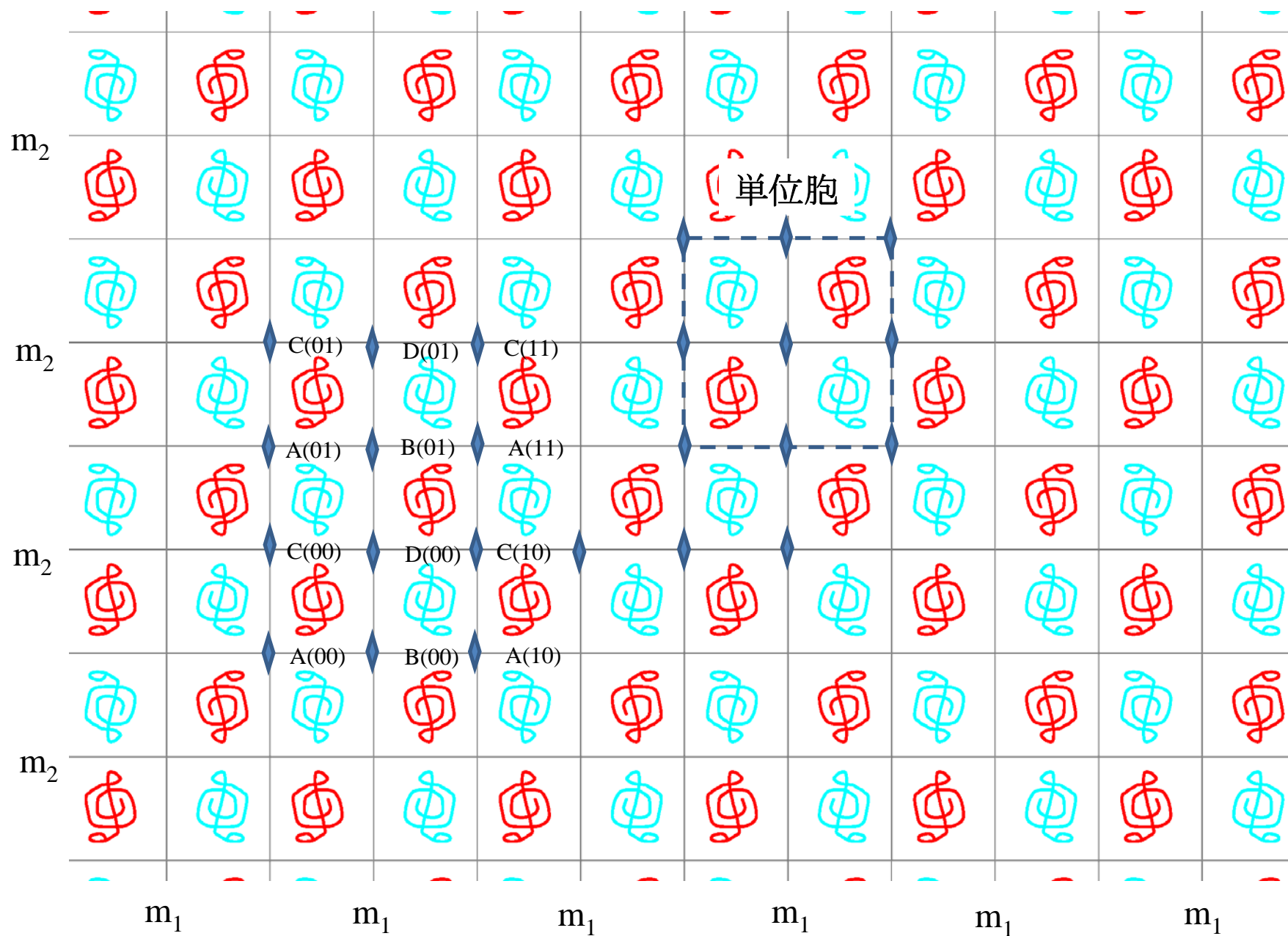


图2-35 p2gg

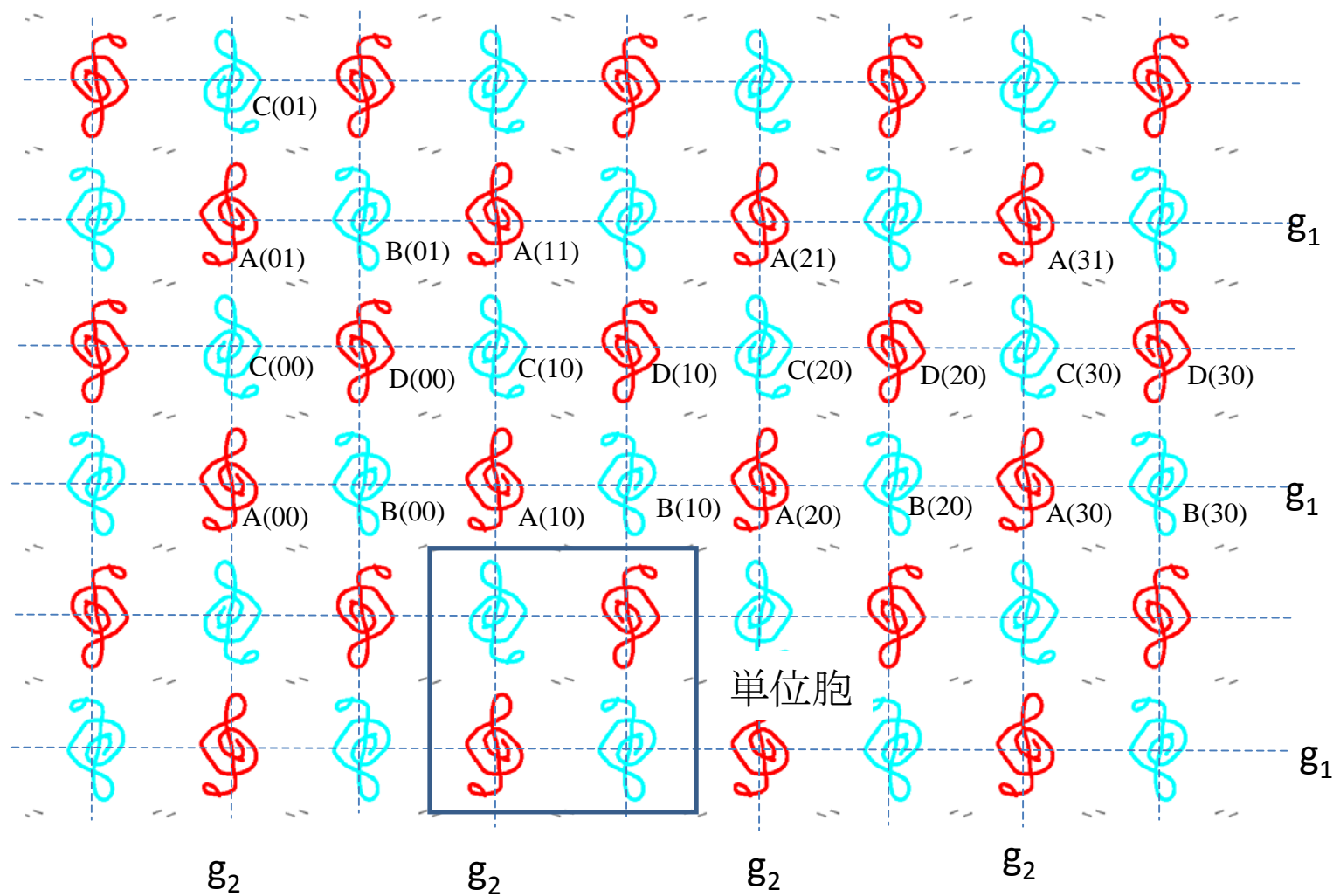


图2-36 p4mm

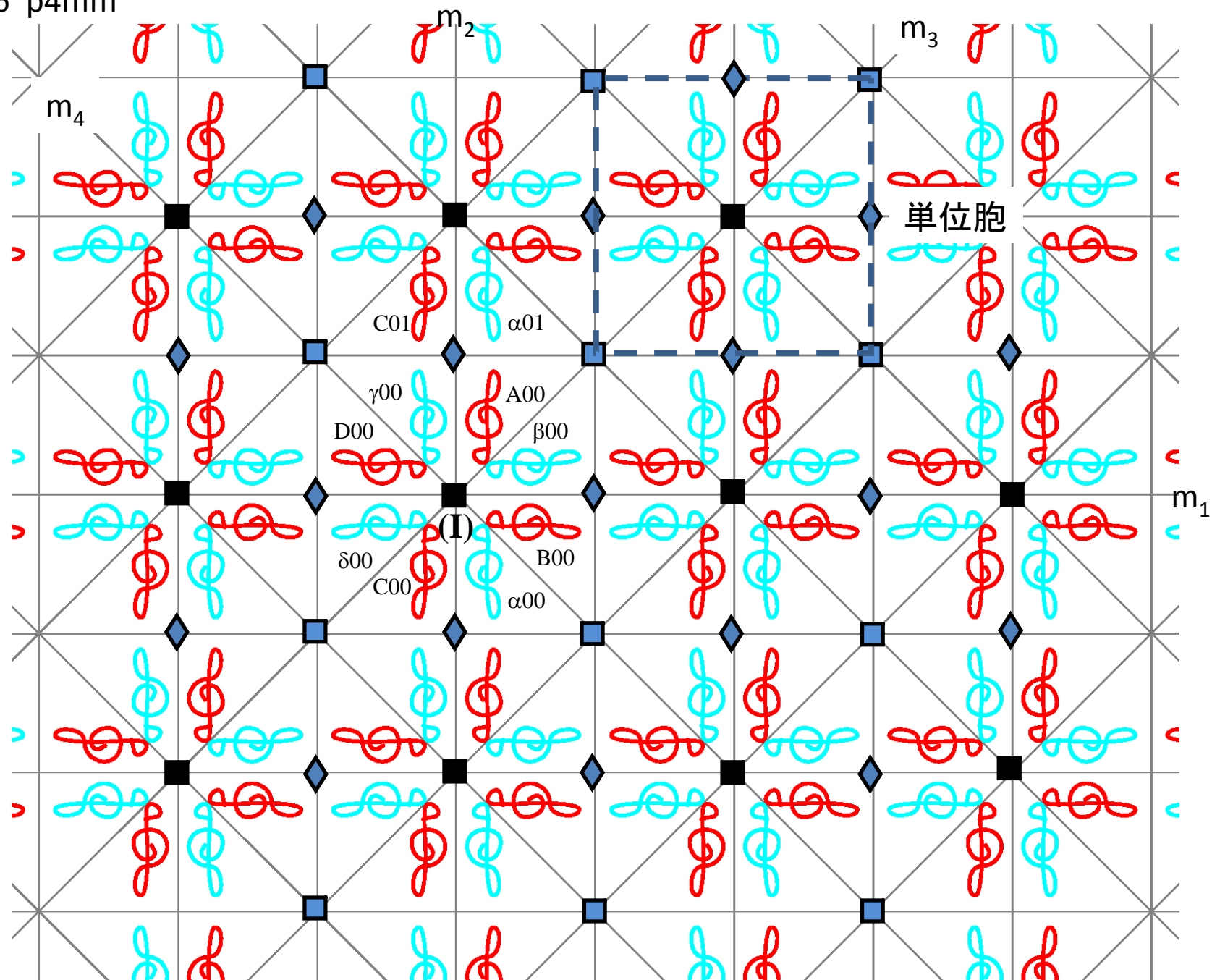


图2-37 p3m1

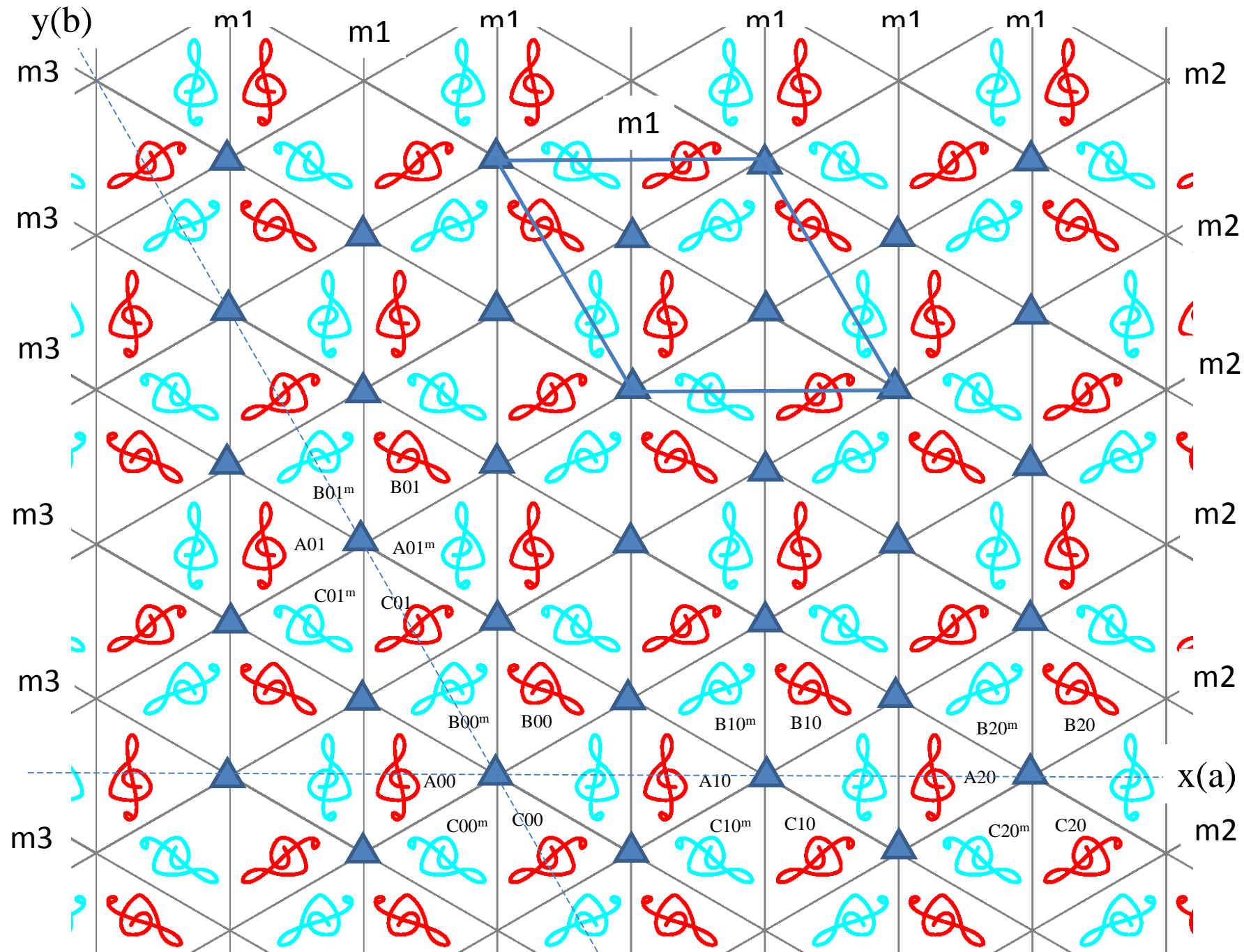


图2-38 p6



图2-39 Cm

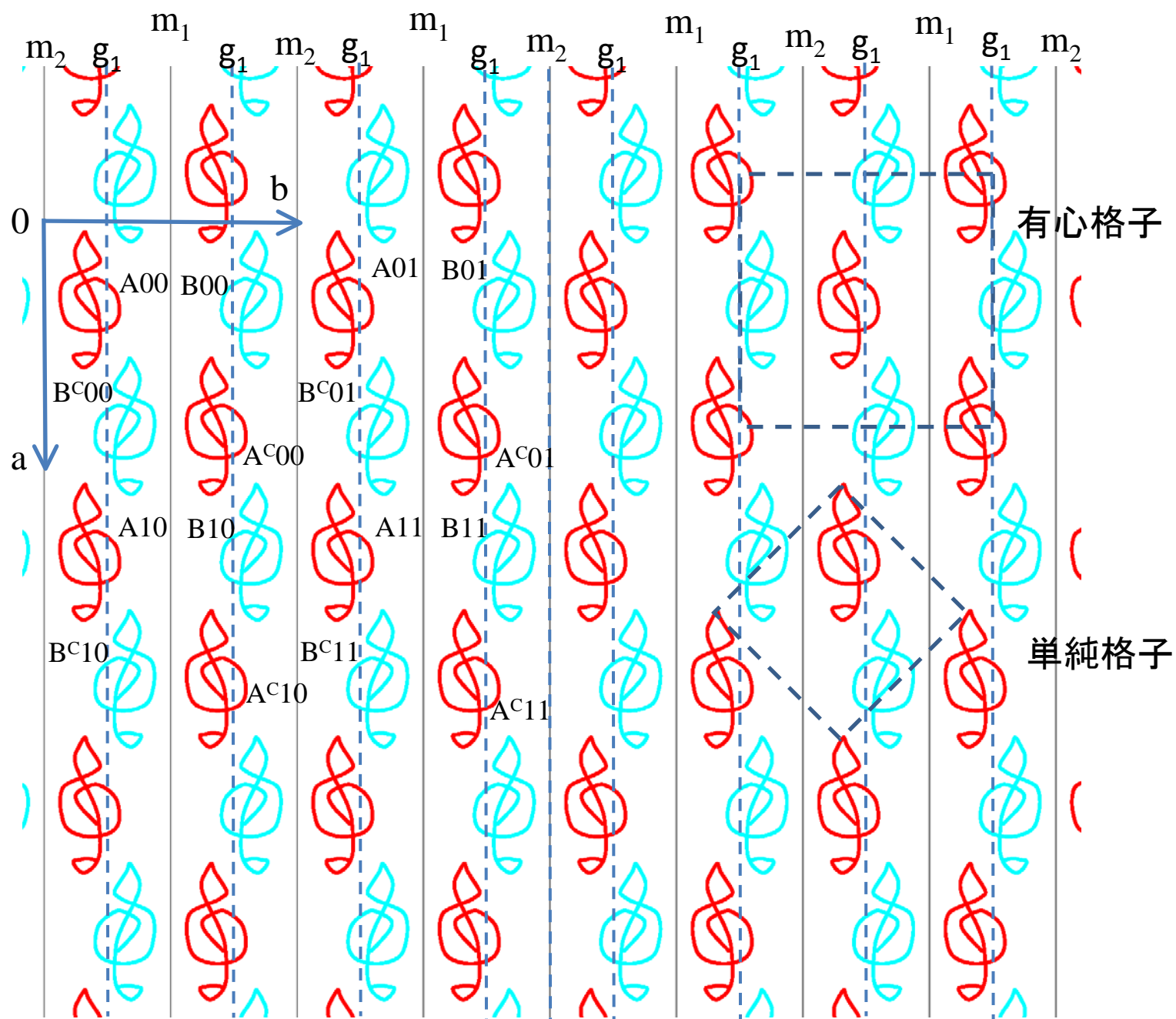


図3-1 らせん階段(a)とDNAの二重らせん(b)

(a)



(b)

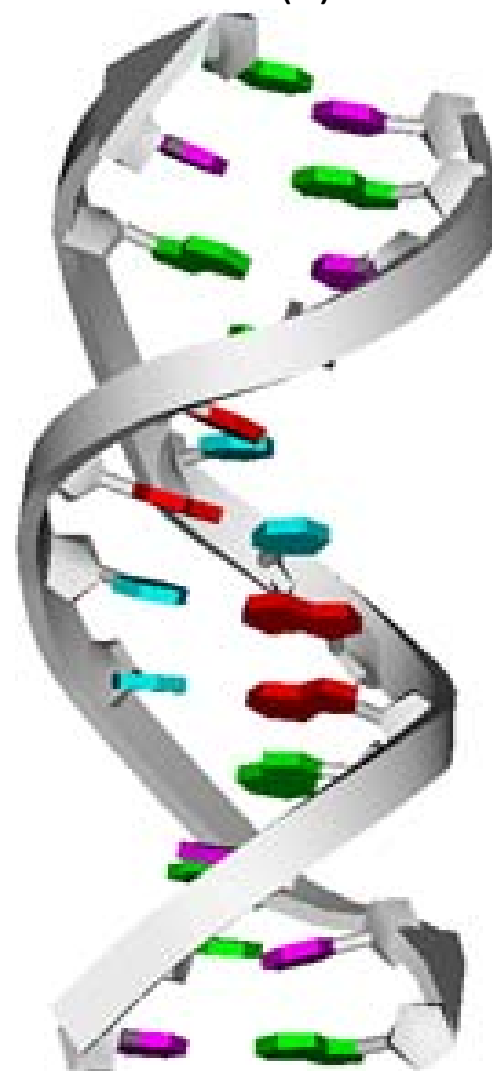


図3-2 2回(2₁)らせん

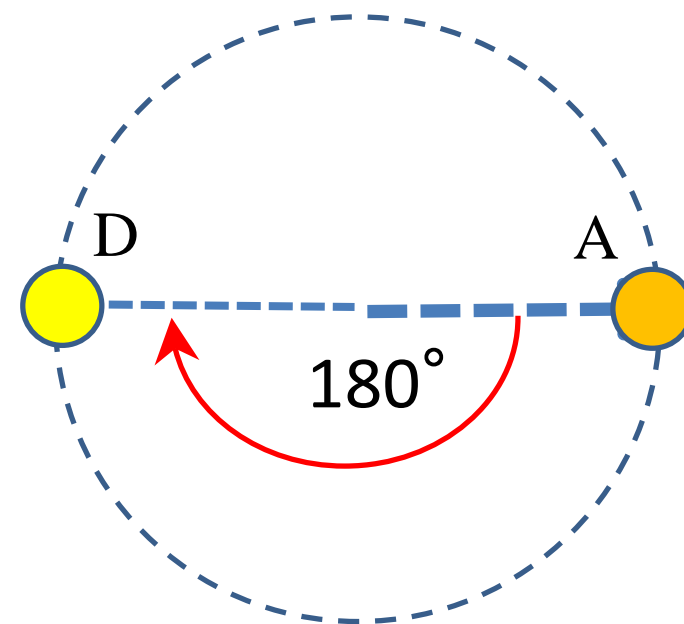
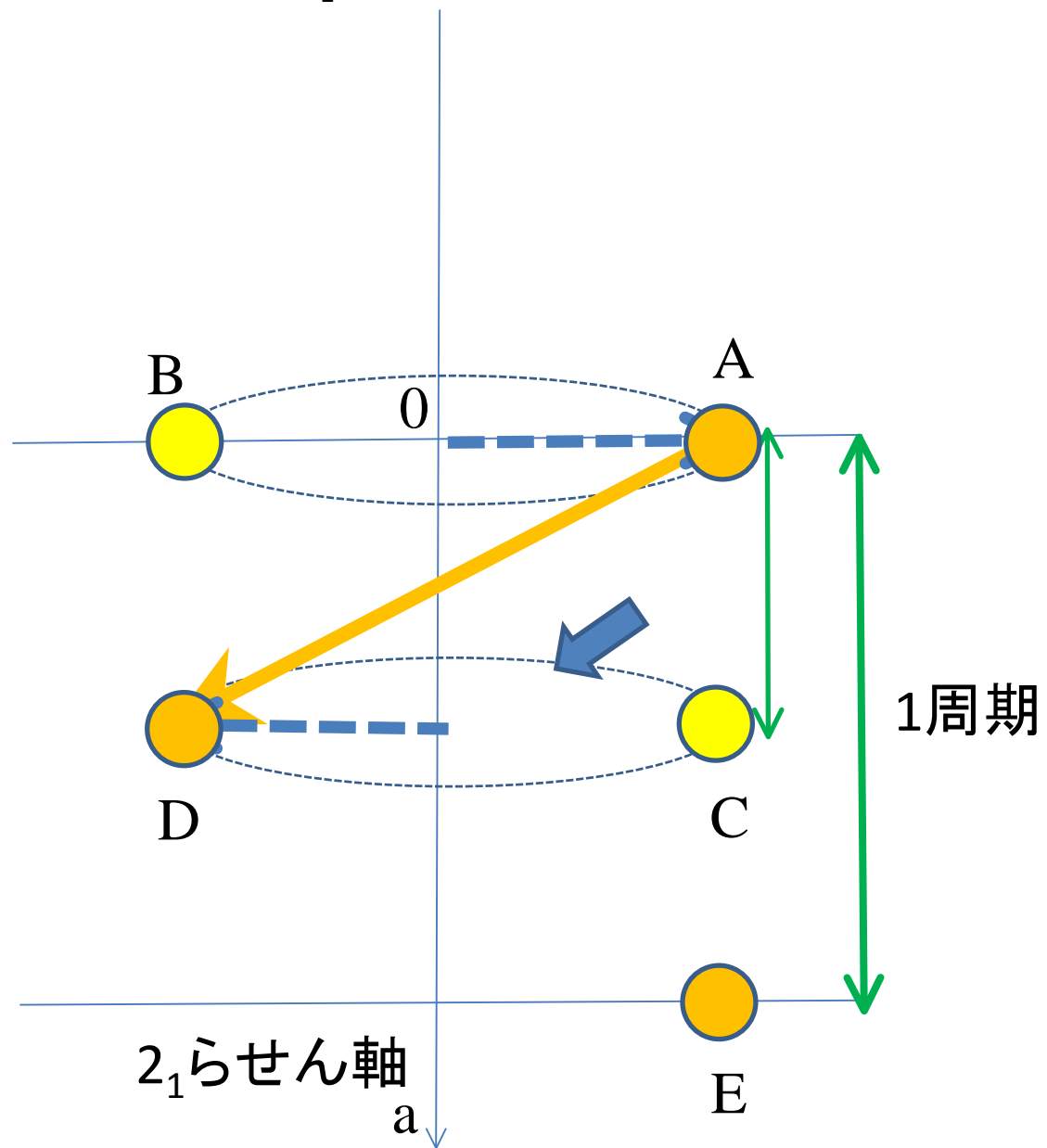
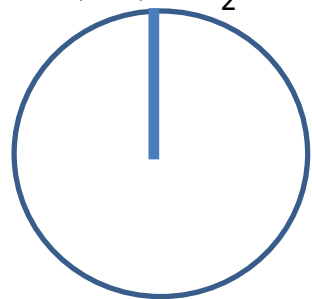
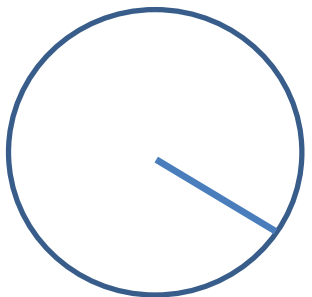


図3-3 3_1 らせん(左)と 3_2 らせん(右)の比較(らせん軸の方向から見た)

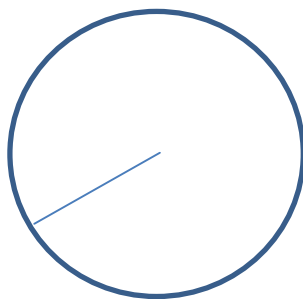


$+120^\circ$



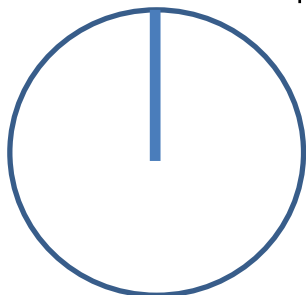
3_1

$+120^\circ$



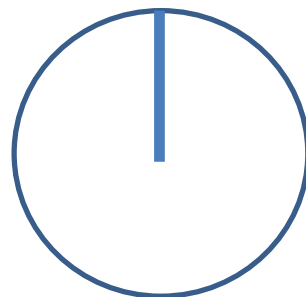
$3_1 \times 3_1$

$+120^\circ$

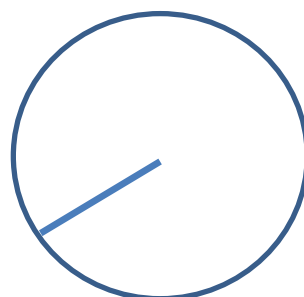


$3_1 \times 3_1 \times 3_1$

元に戻る

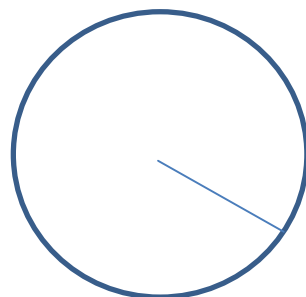


$+240^\circ (-120^\circ)$



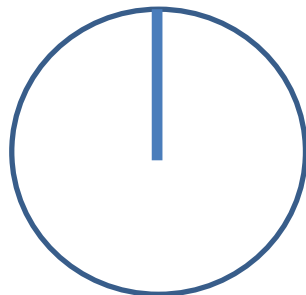
3_2

$+240^\circ$



$3_2 \times 3_2$

$+240^\circ$



$3_2 \times 3_2 \times 3_2$

元に戻る

図3-4 対称心(0)で関係付けられるAおよびB

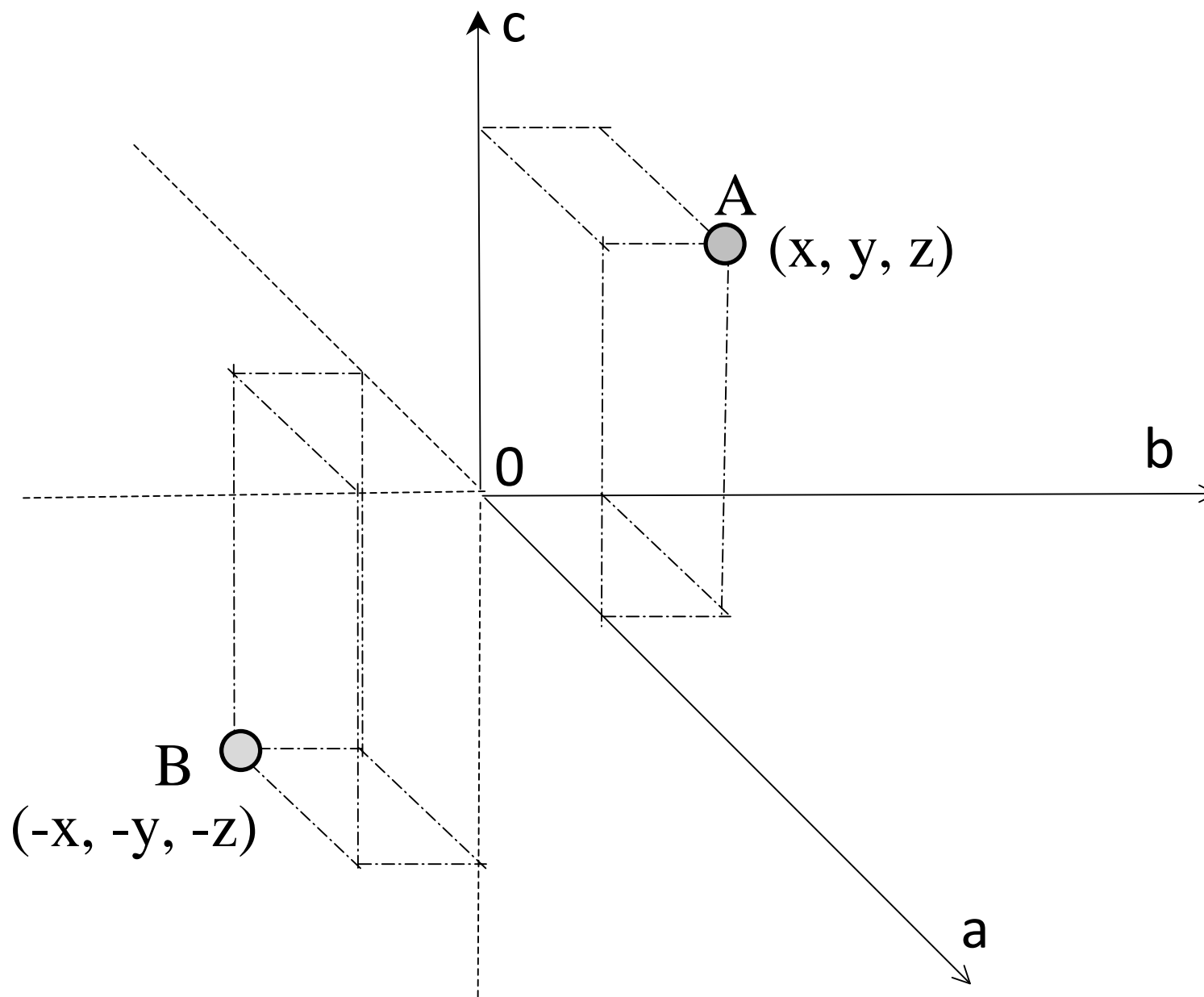
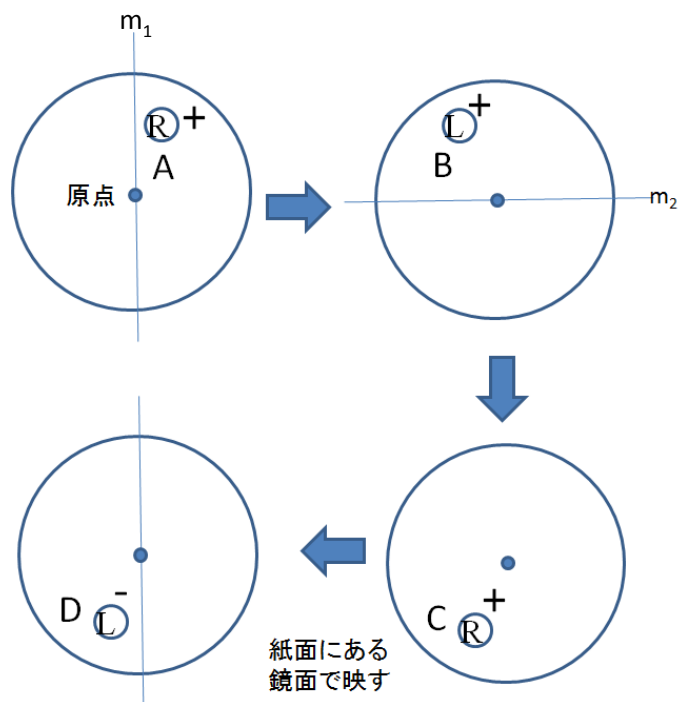


図3-5

(a)



(b)

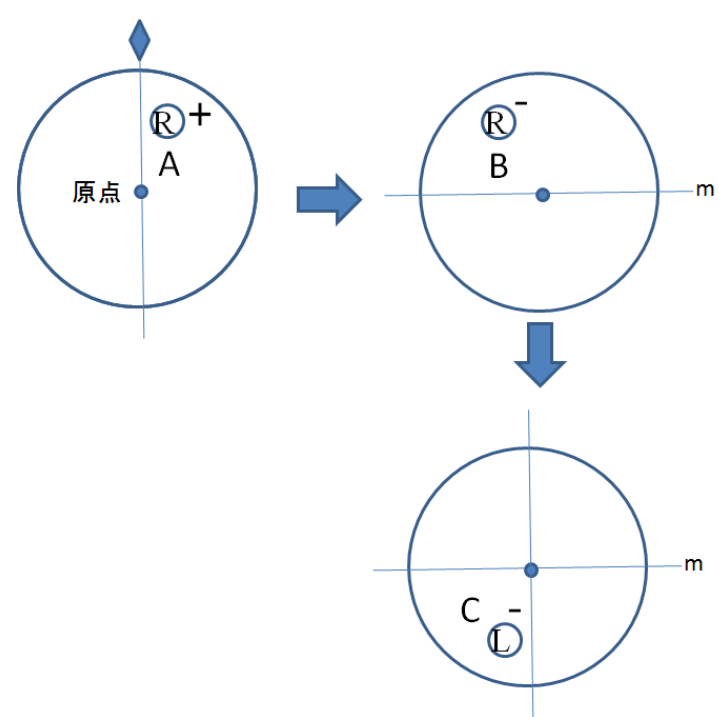


図3-6 c軸に垂直でb方向に進む映進面

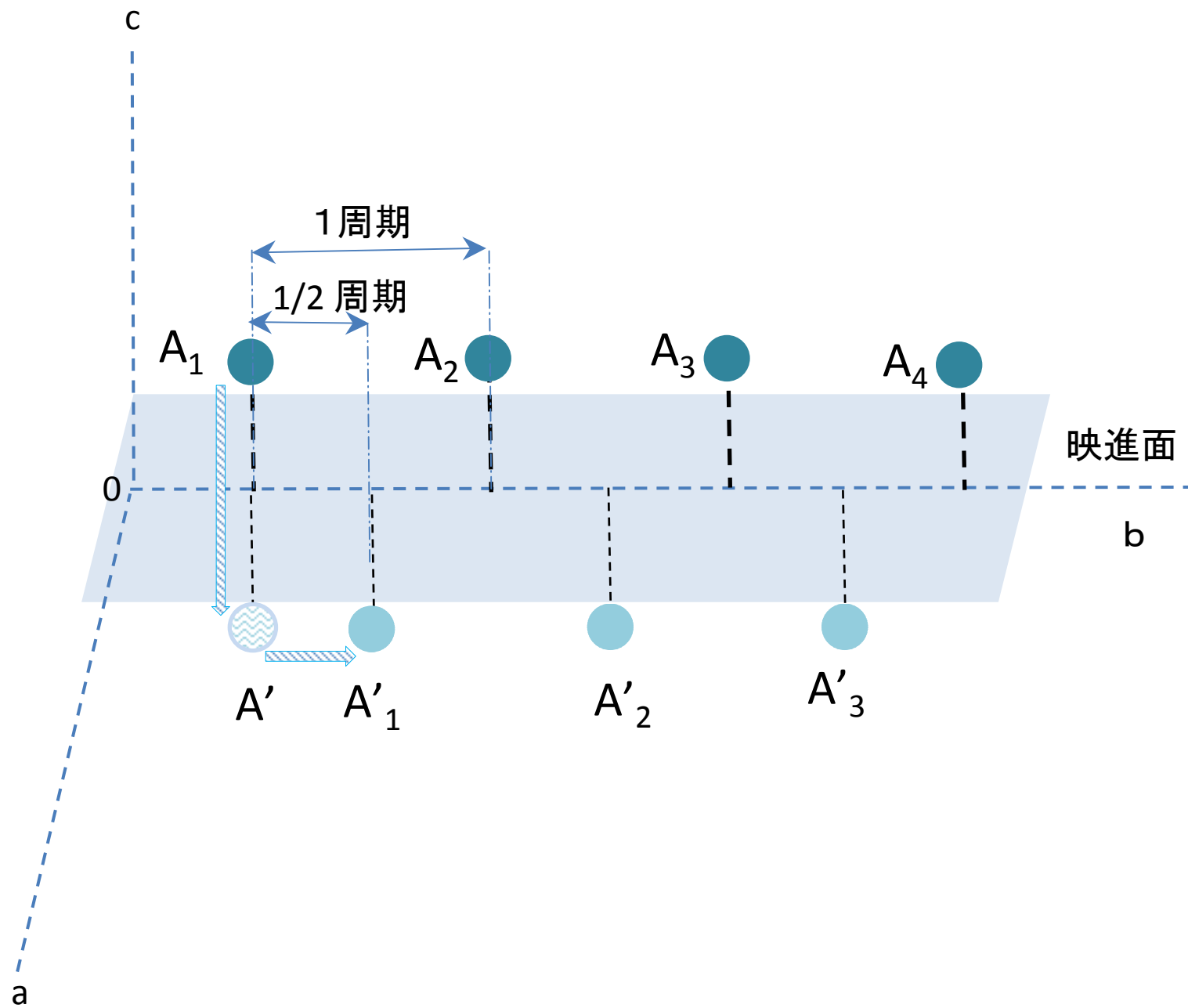


図3-7 格子の種類

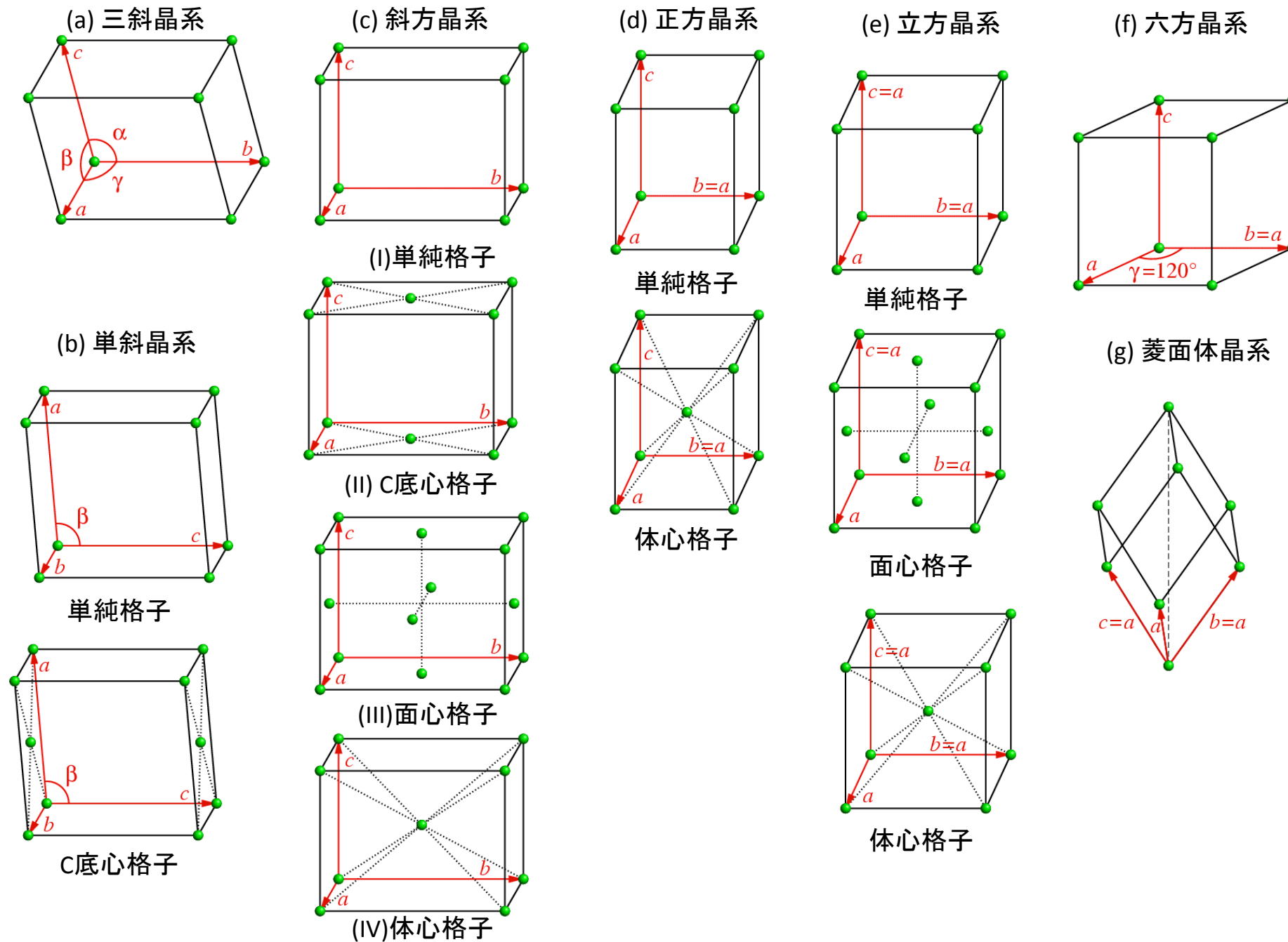


図3-8 菱面体晶(点線)と六方晶系(実線)の関係

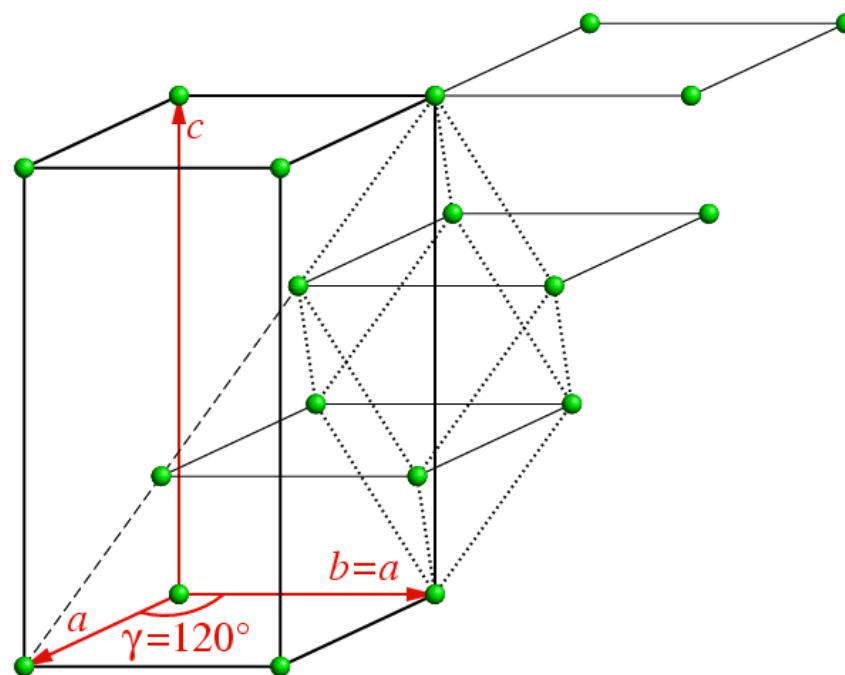
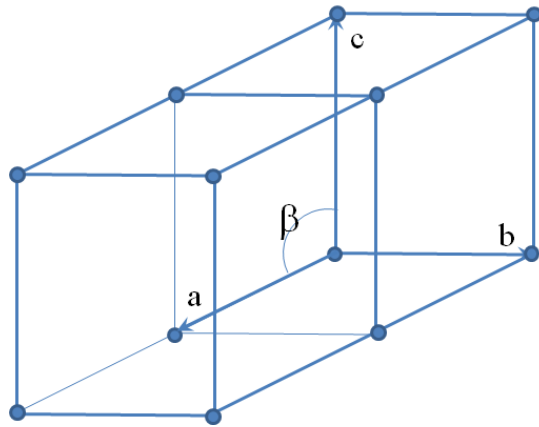
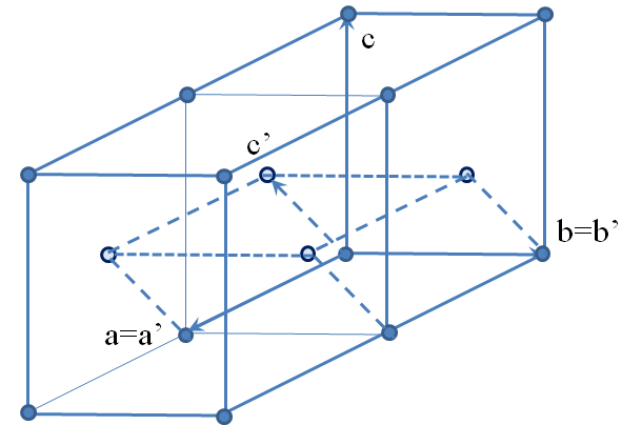


図3-9 単斜晶系が取り得る複合格子

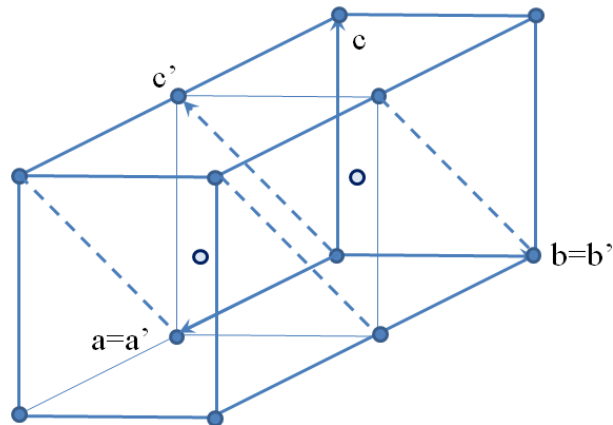
(a) 二つの単純格子



(b) B底心格子の単斜晶系は単純格子の単斜晶系と等価である



(c) 体心格子の単斜晶系はC底心格子の単斜晶系と等価になる



(d) 面心格子の単斜晶系はC底心格子の単斜晶系と等価である

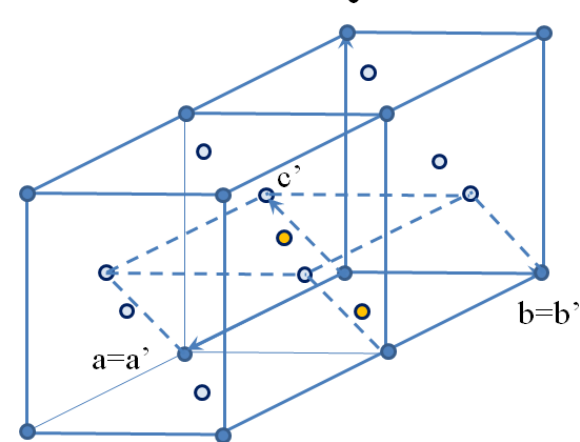


図3-10 C底心格子の単斜晶系は単純格子の単斜晶系には絶対なれない！

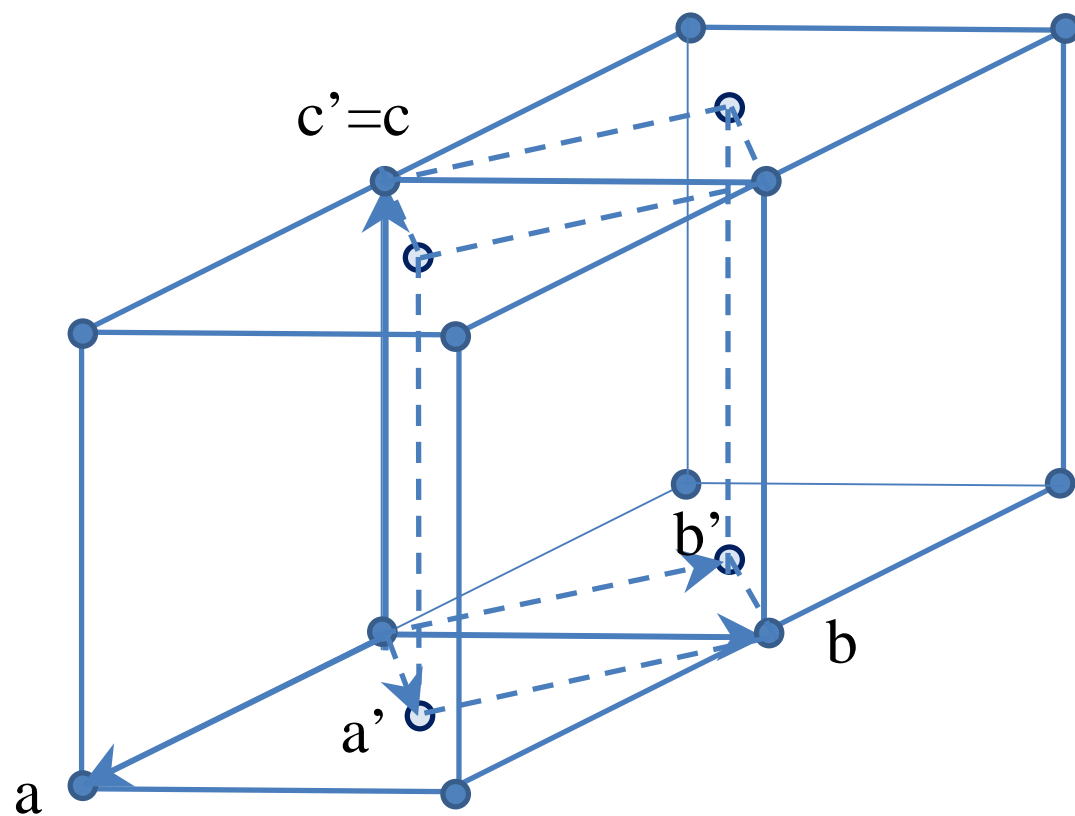
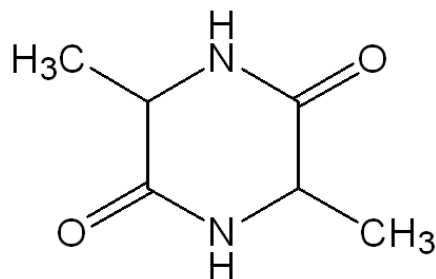
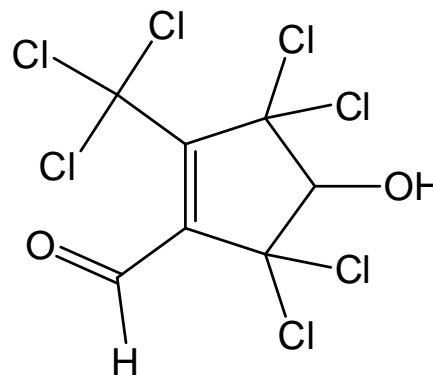


図3-11 種々の晶系の結晶になる分子

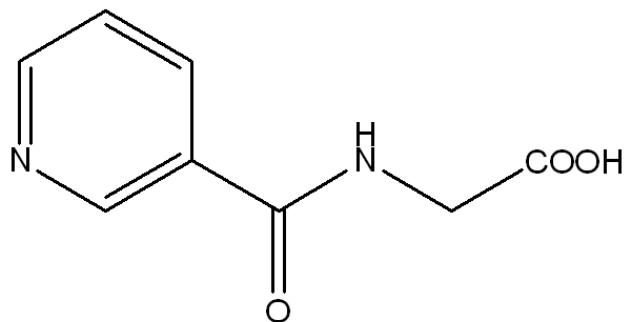
(a)三斜晶系($P1$)の結晶になる分子



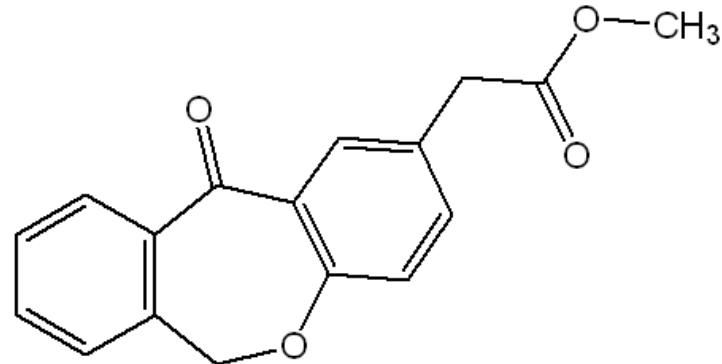
(c)単斜晶系($P2_1$)の結晶になる分子



(b)三斜晶系($P\bar{1}$)の結晶になる分子(NAA)



(d)単斜晶系($P2_1/c$)の結晶になる分子



(e) 空間群 $P2_12_12_1$ の結晶になるL-グルタミン酸

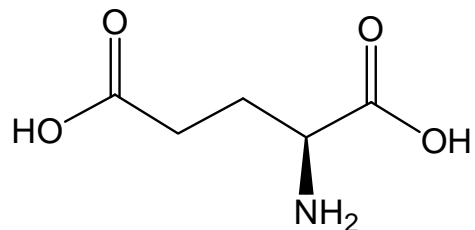
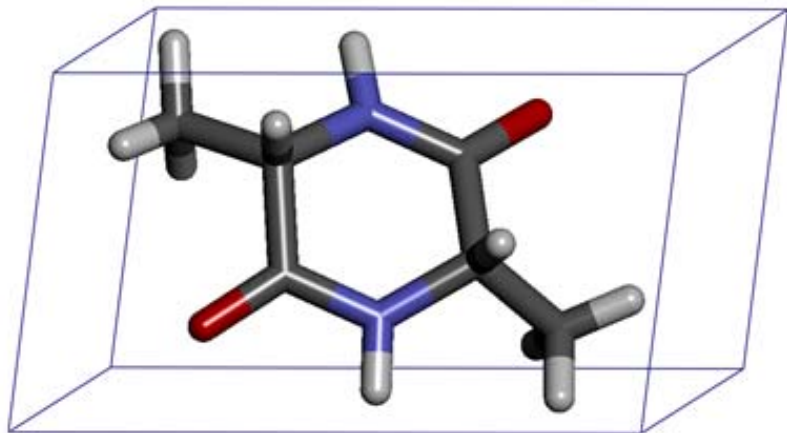
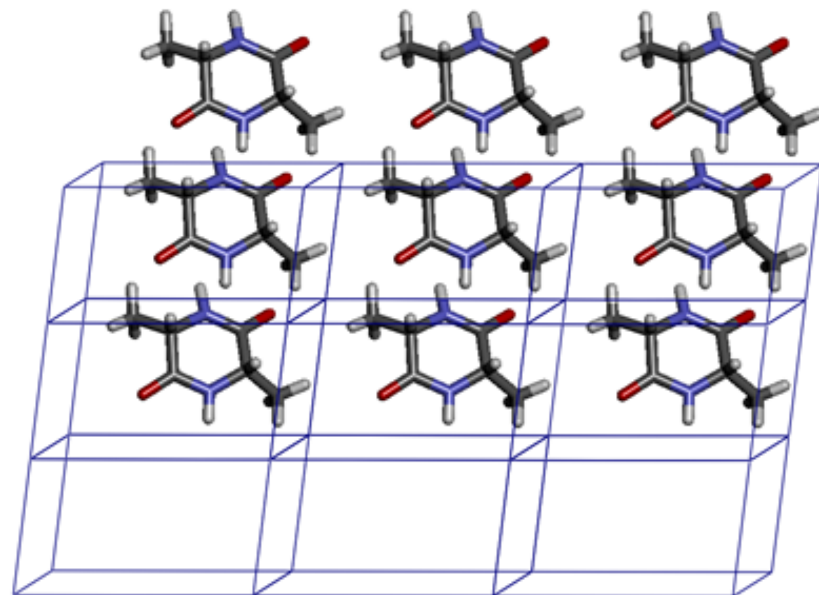


図3-12 DMP結晶の構造。

(a) 単位胞。1分子のDMPが入っている。何の対称もない



(b) DMPの単位胞が二次元的に規則配列した様子



(c) DMPの単位胞が三次元的に規則配列した様子

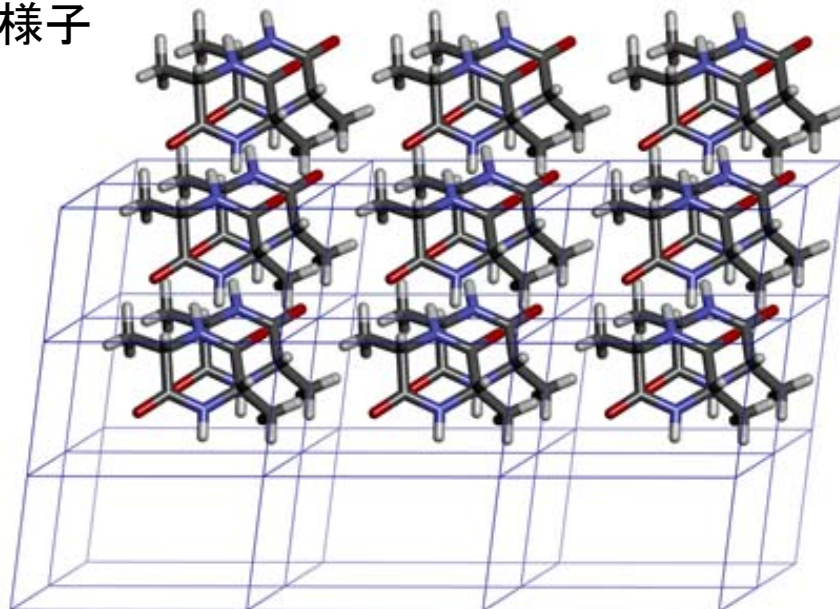


図3-13 空間群の模式例(P1)

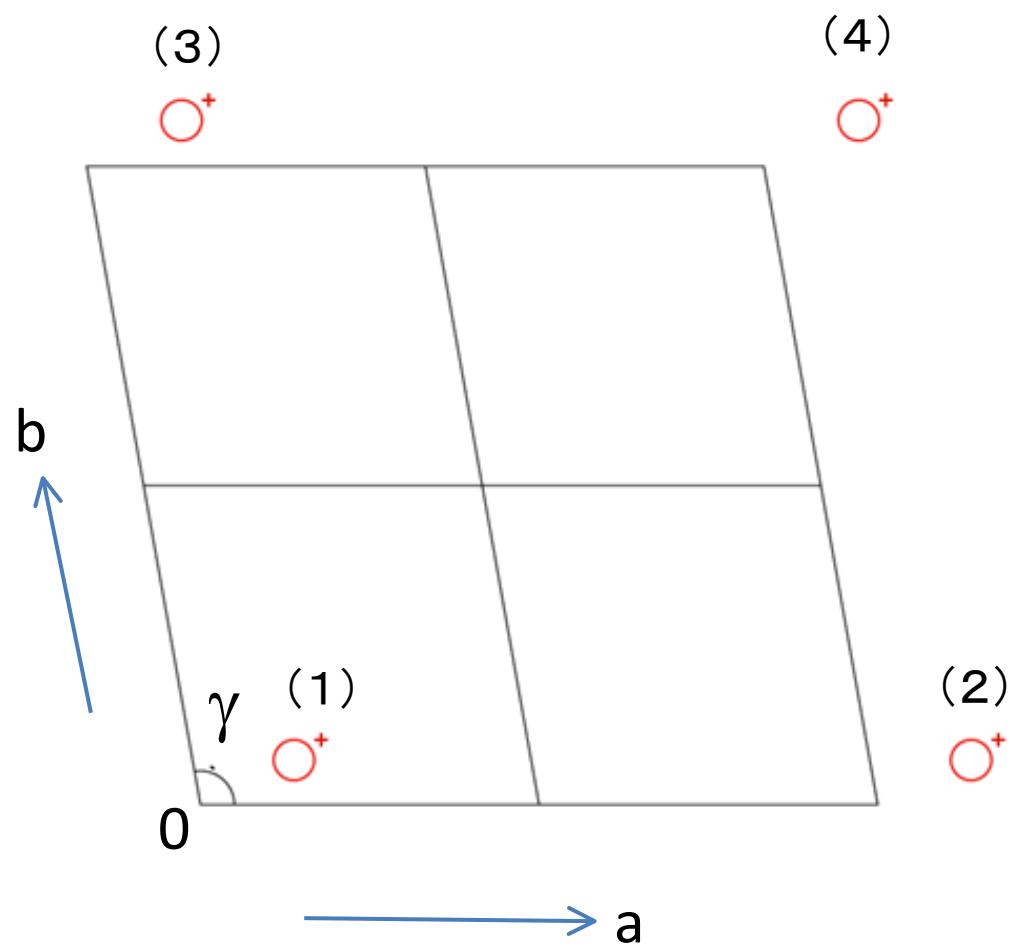
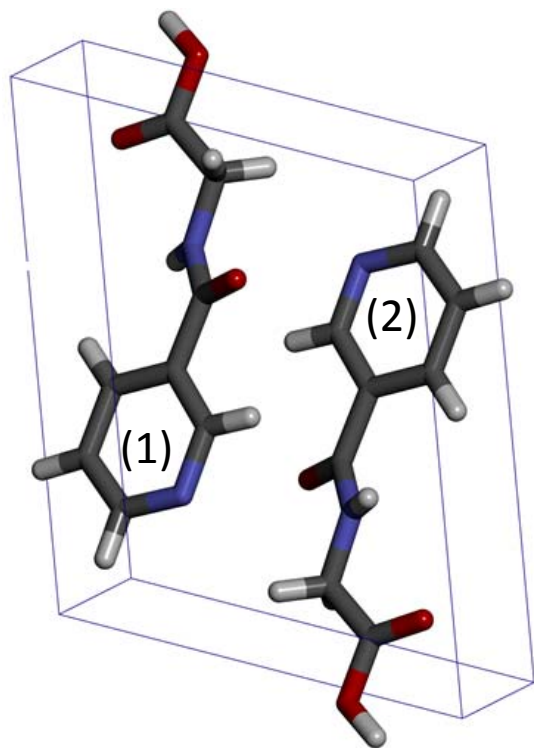


図3-14 NAA分子の結晶構造

(a)単位胞中に2分子のNAA分子が含まれる。
2分子は単位胞の中心にある対称心で
関係付けられる。



(b)対称心で関係付けられる2分子を含む
三斜晶系単位胞の二次元規則配列

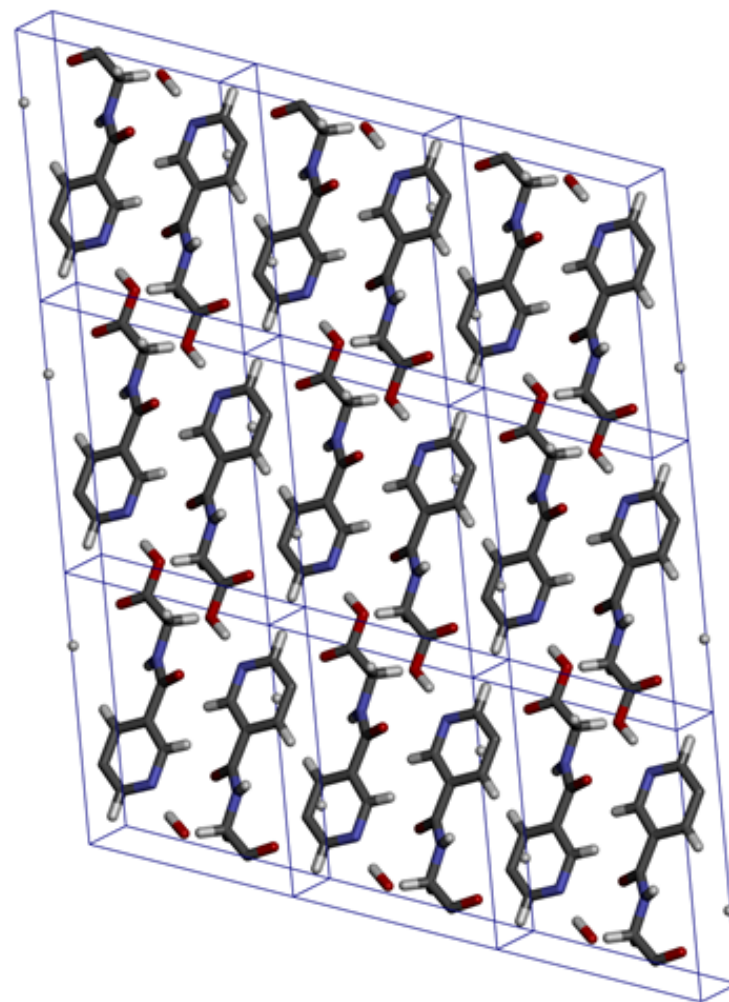


図3-15 空間群 $P1(-)$ の模式図

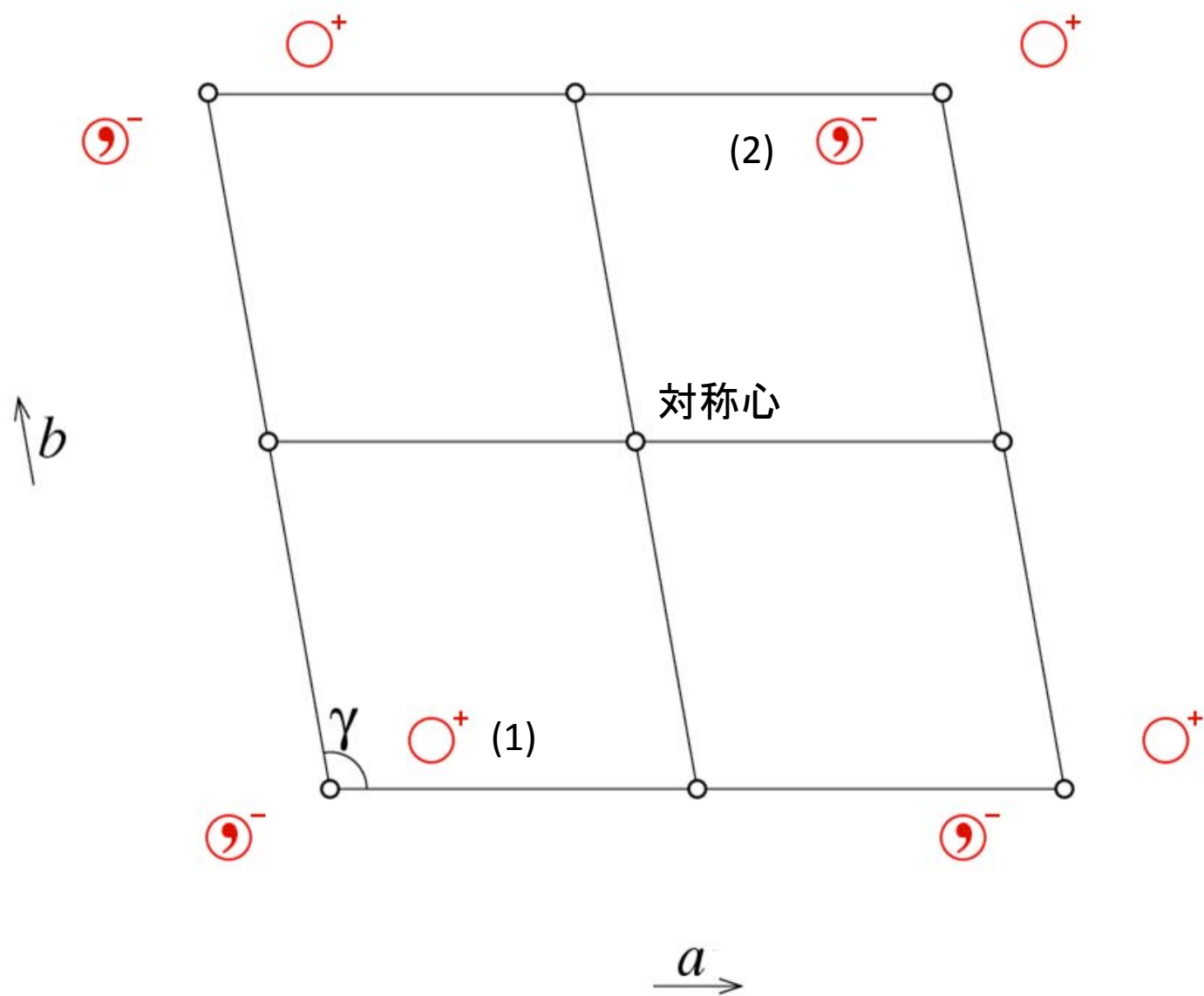


図3-16 対称心で関係付けられる右手と左手

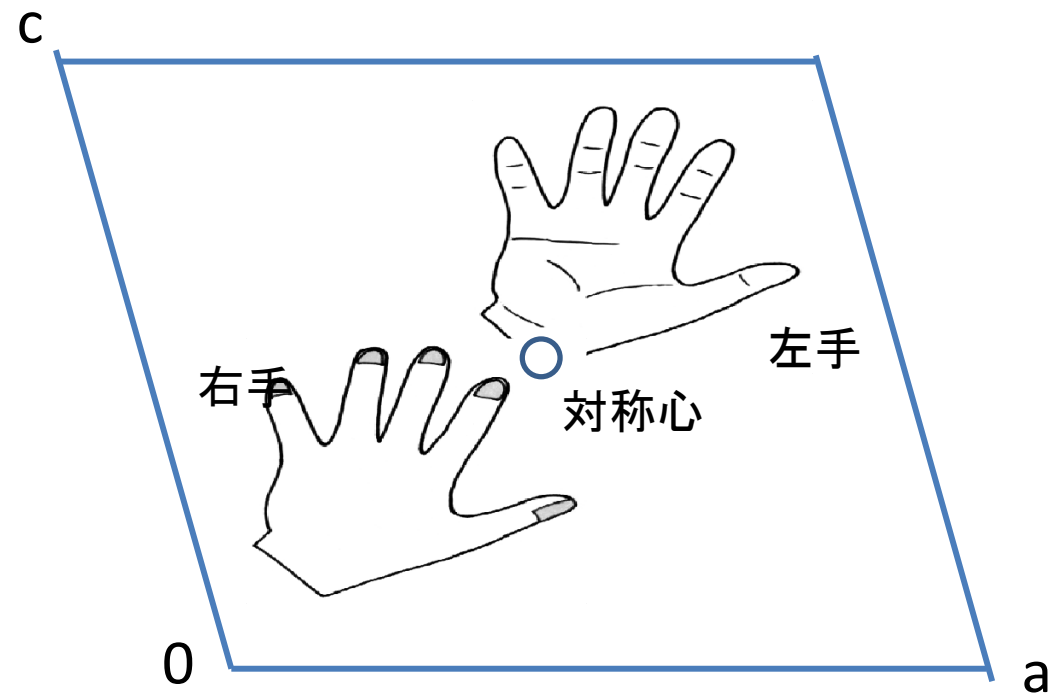


図3-17 三斜晶系では2回回転対称は
許されない

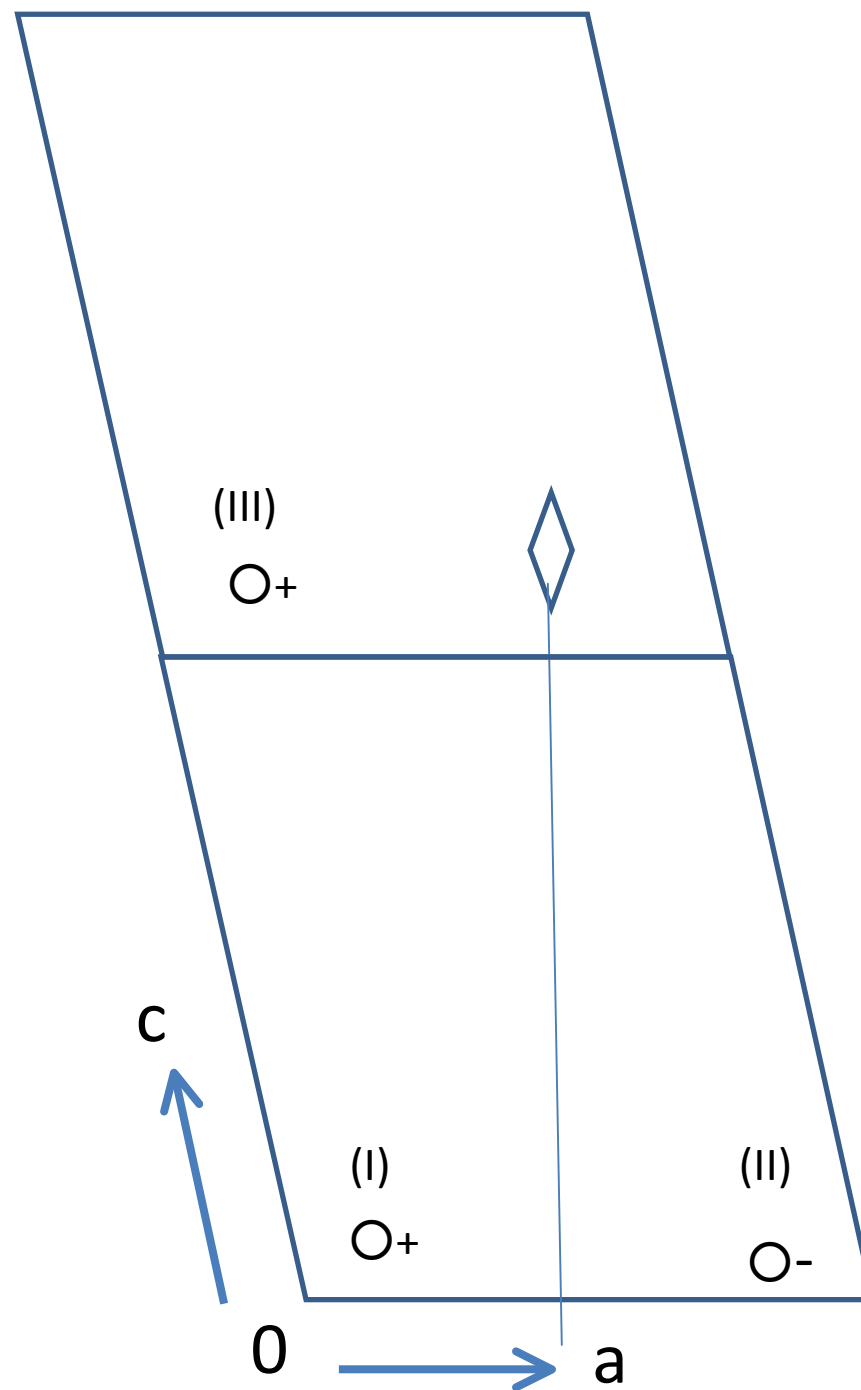
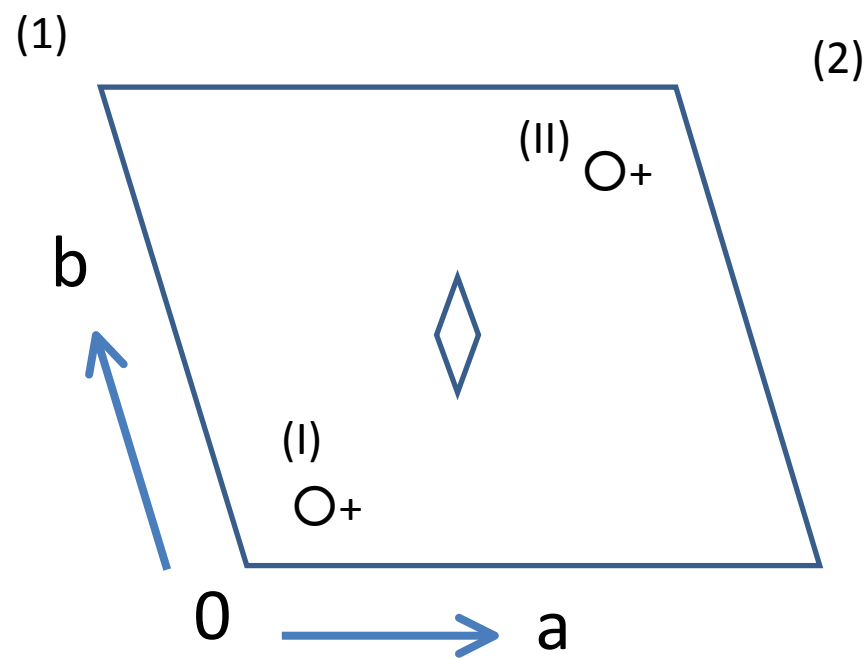


図3-18 空間群 $P2$ の模式図

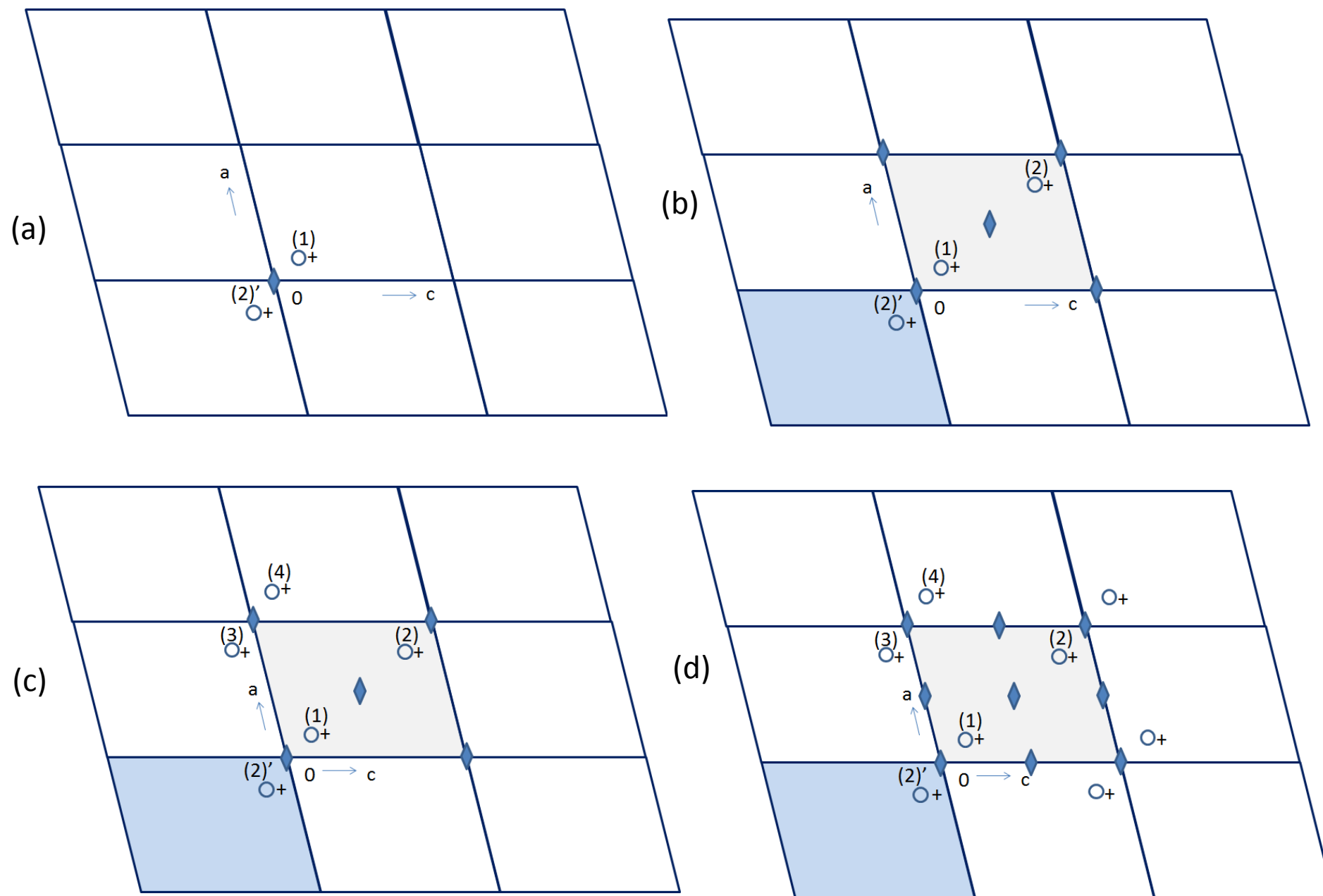
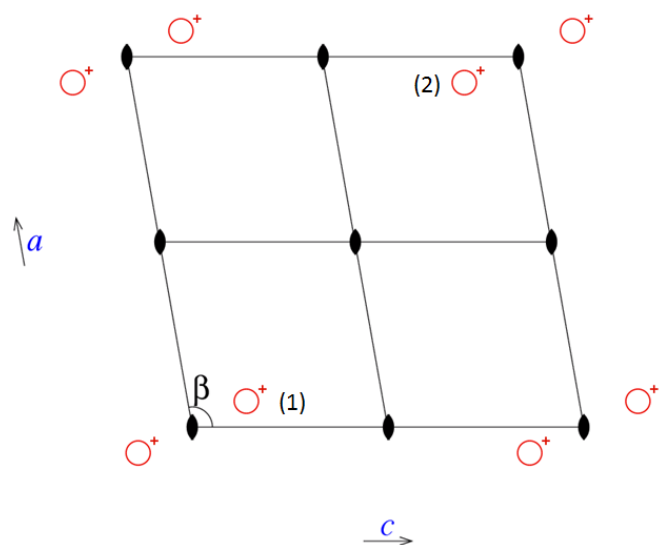


図3-19 空間群 $P2$ の単位胞における対称

(a)対称の模式図



(b)空間群 $P2$ における分子の手系。
この図では両方とも左手。

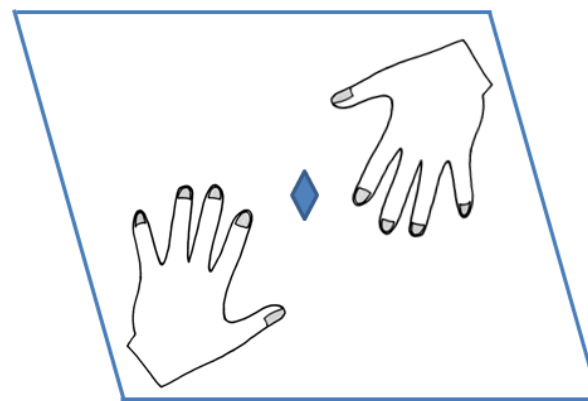


図3-20 空間群 $P2_1$ の単位胞の模式

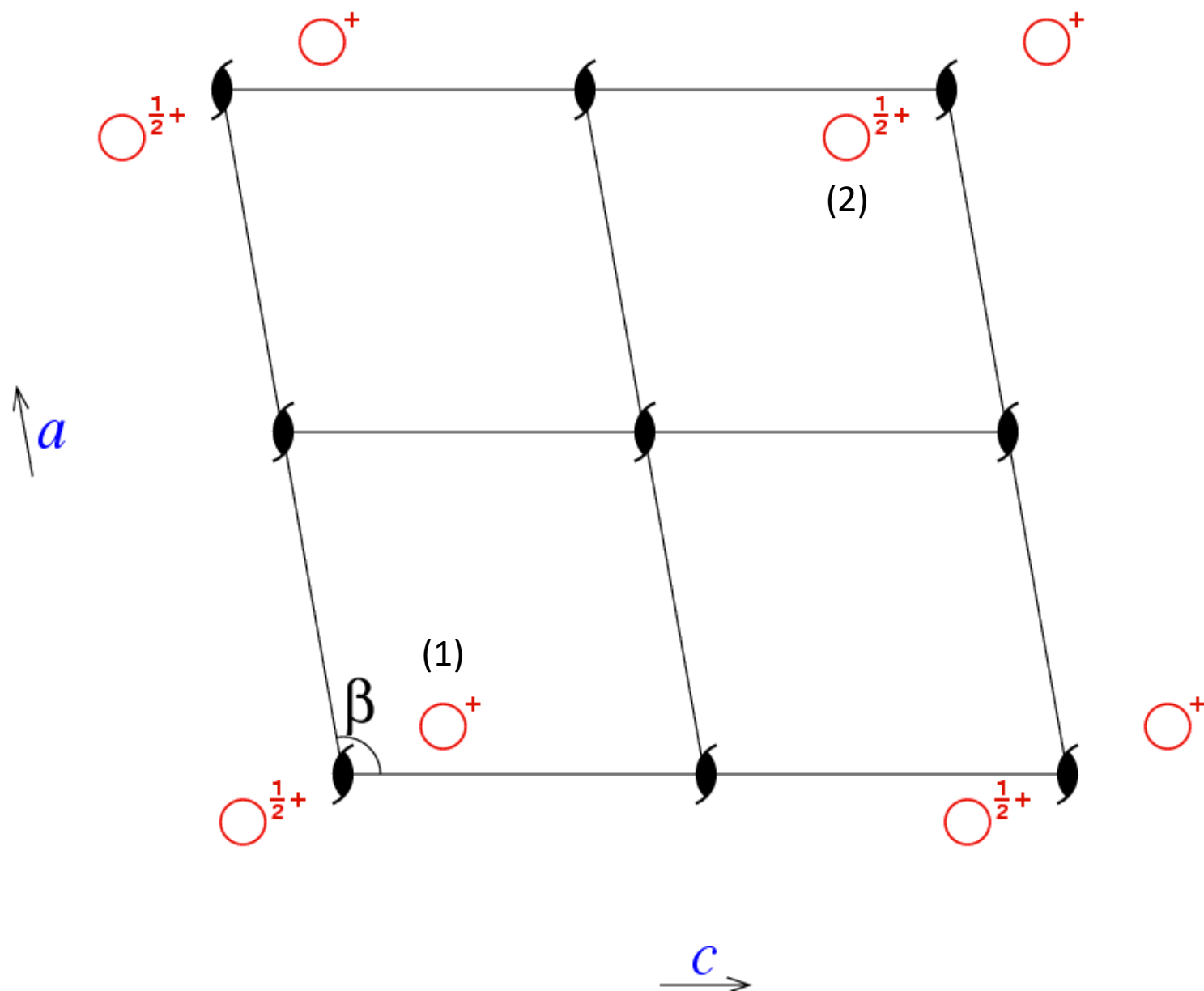
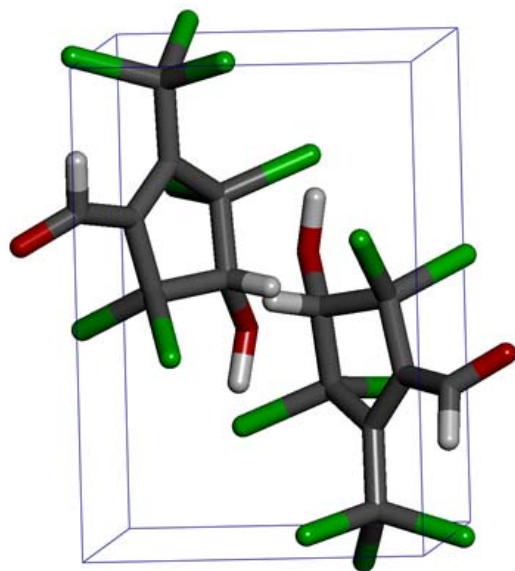
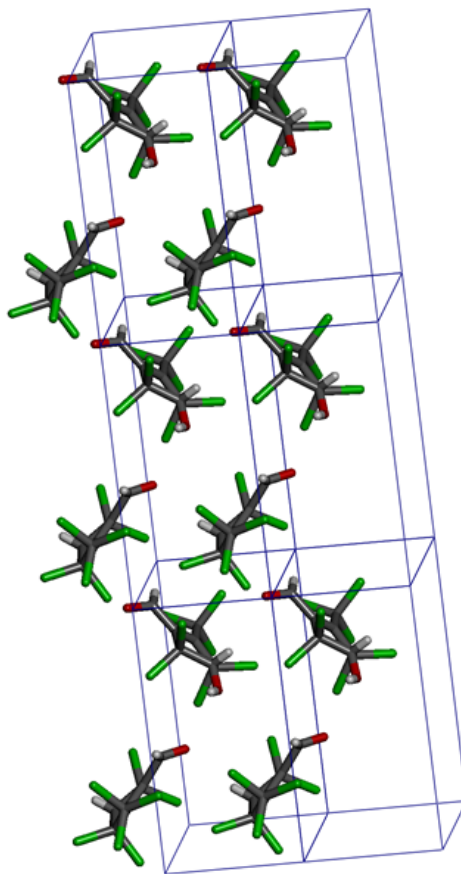


図3-21 空間群 $P2_1$ の結晶になった分子の結晶構造

(a) 単位胞内の2分子



(b) 結晶の一部



(c) 各原子をファン・デル・ワールス半径で描いた結晶構造

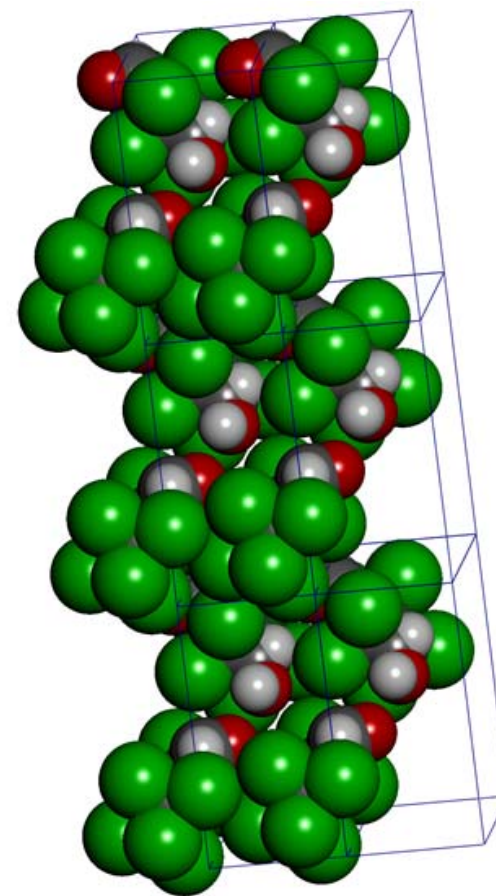
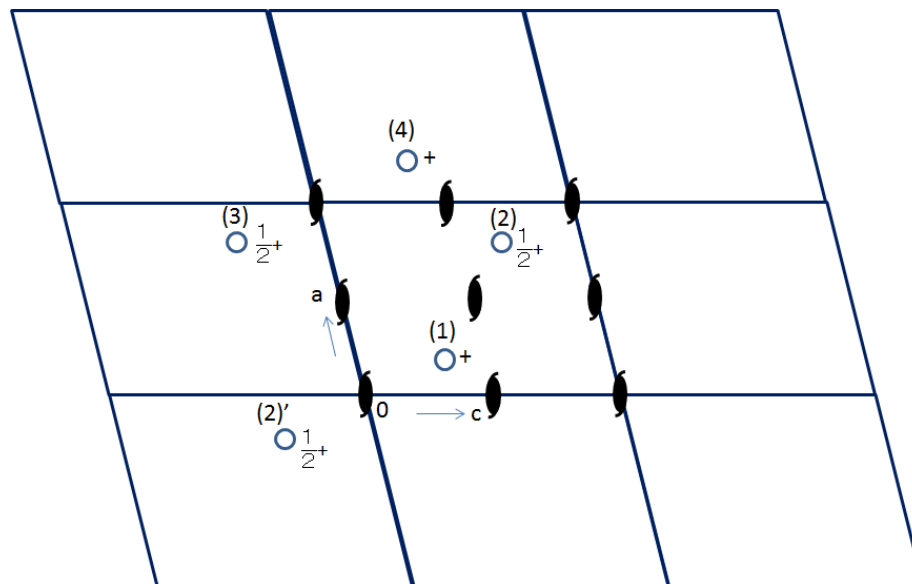
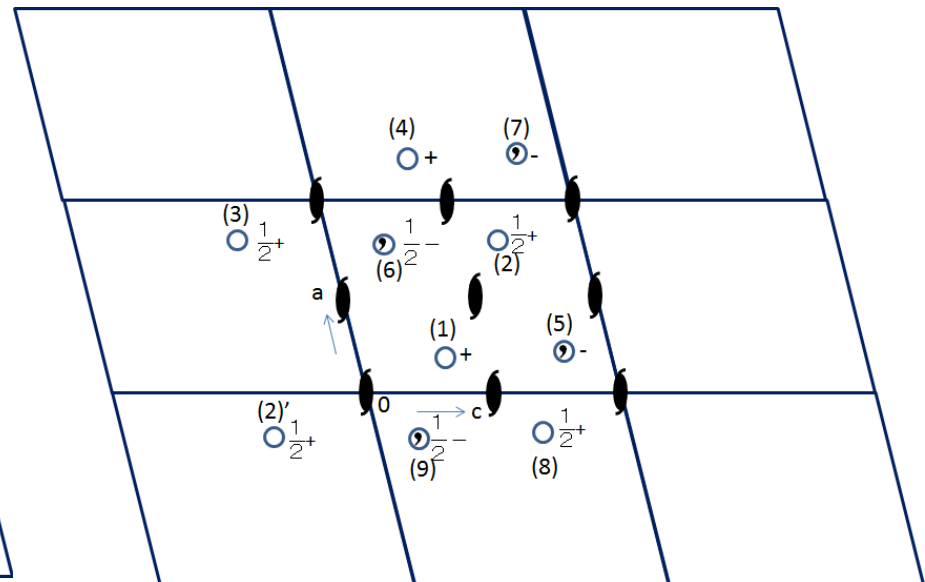


図3-22 空間群 $P2_1/c$ の模式

(a)



(b)



(c)

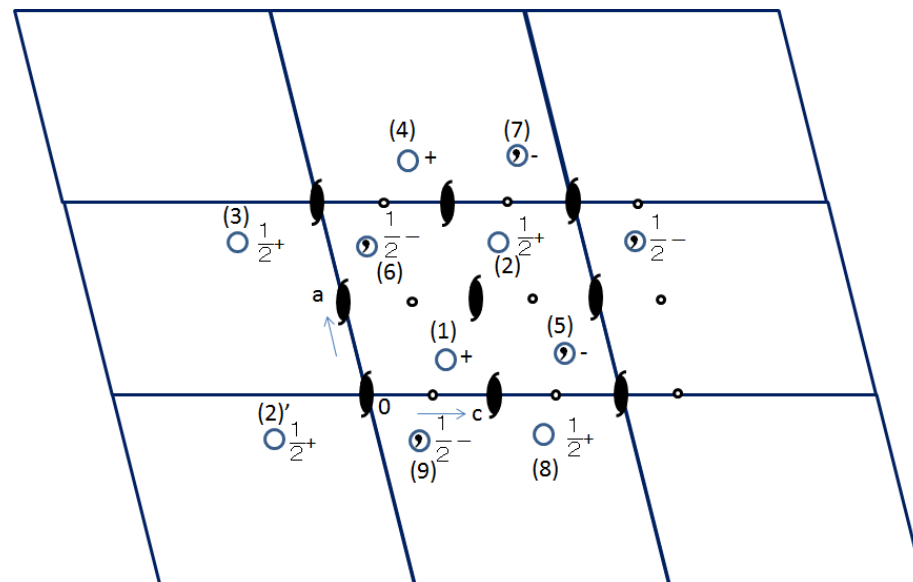


図3-23 空間群 $P2_1/c$ の模式

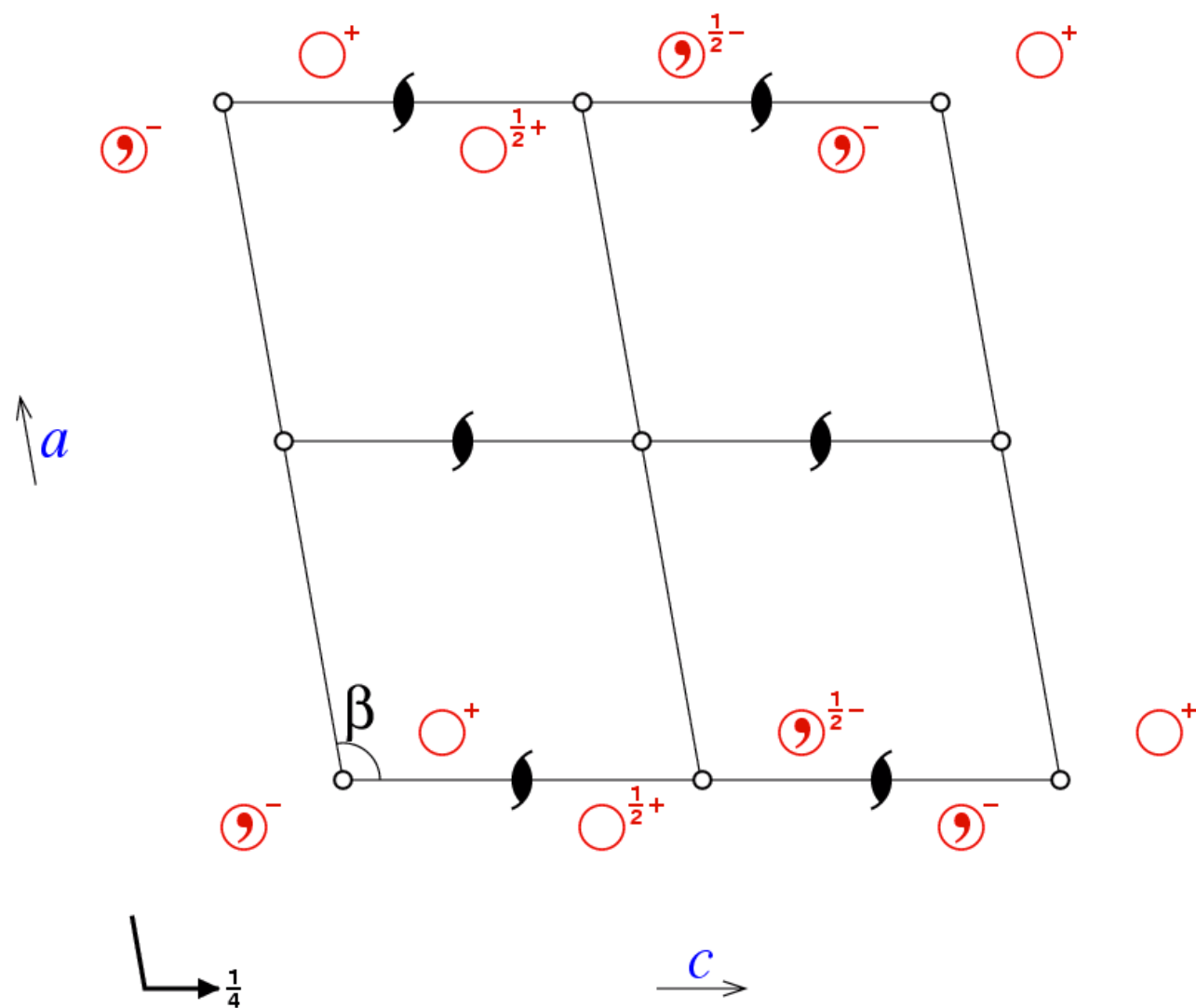


図3-24 図3-11(d)の分子が作る空間群 $P2_1/c$ の結晶の構造

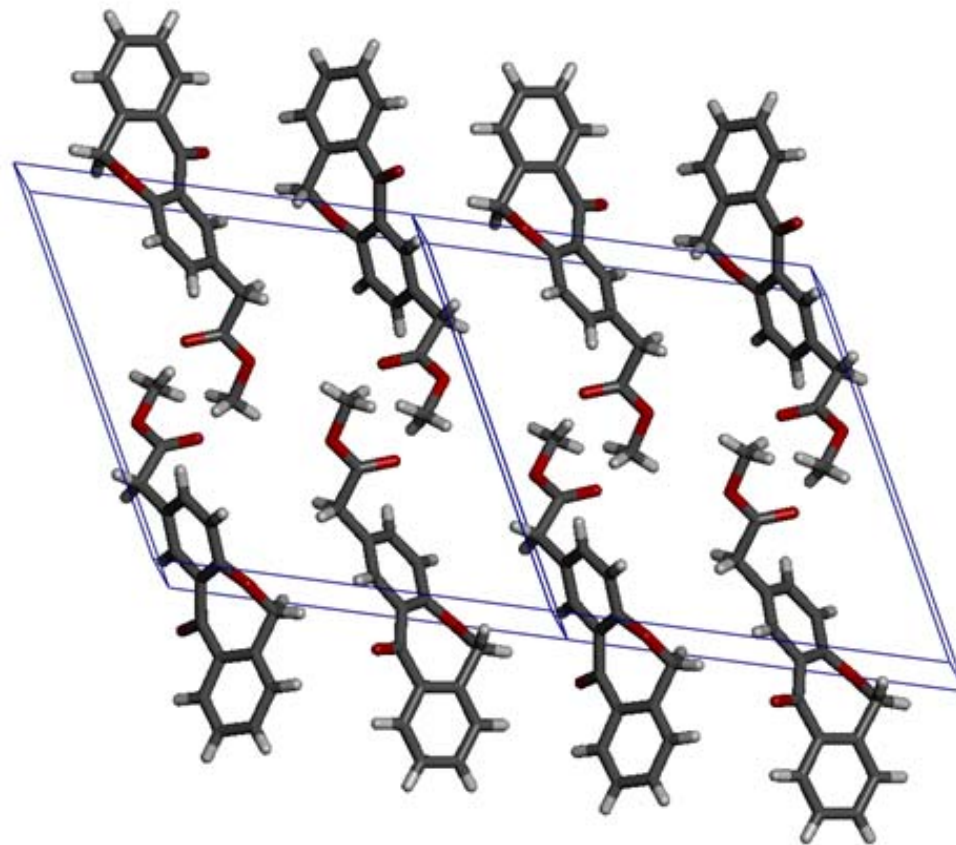


図3-25 空間群 $P2_12_12_1$ の理解へ

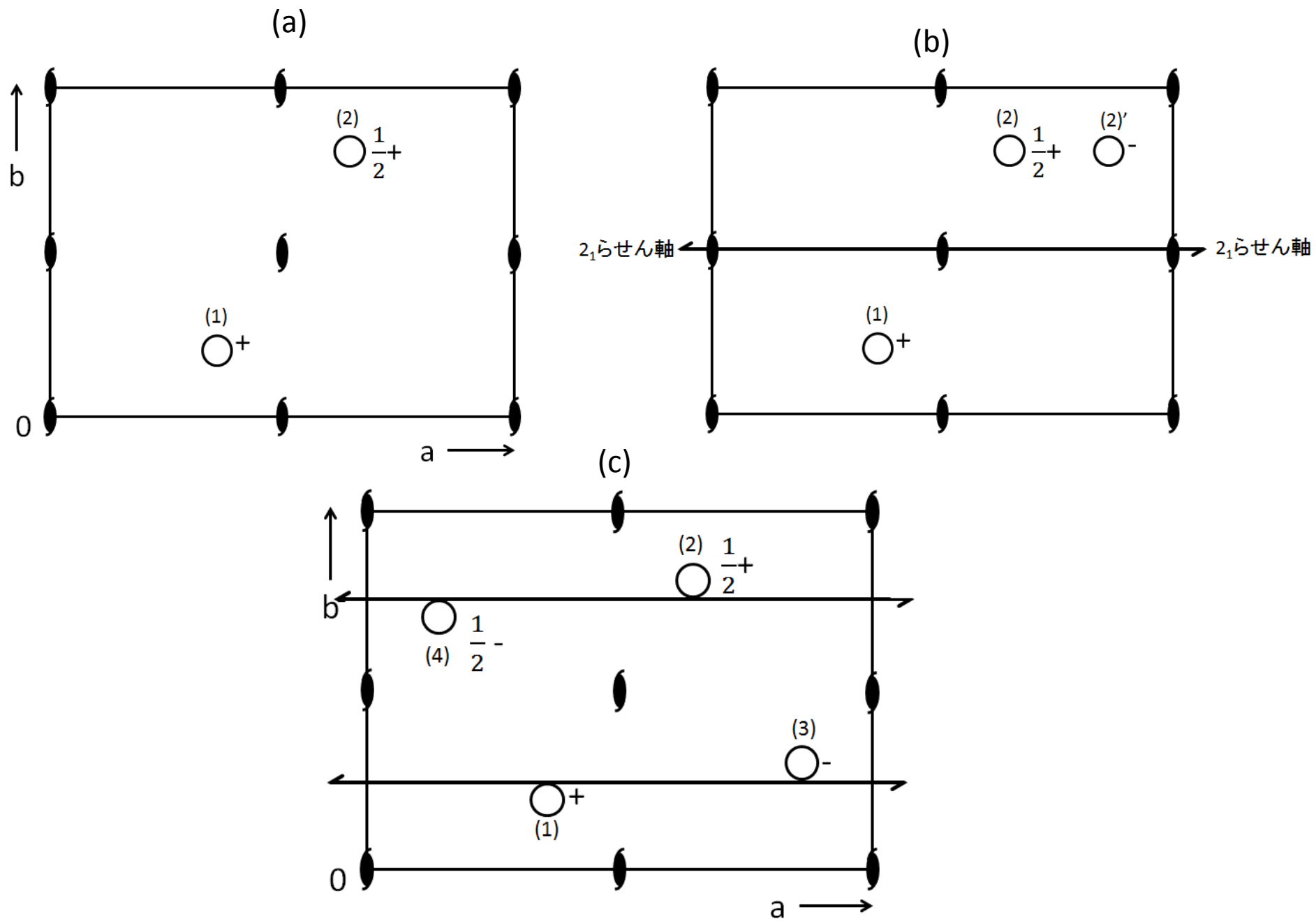


図3-26 空間群 $P2_12_12_1$ の対称の模式

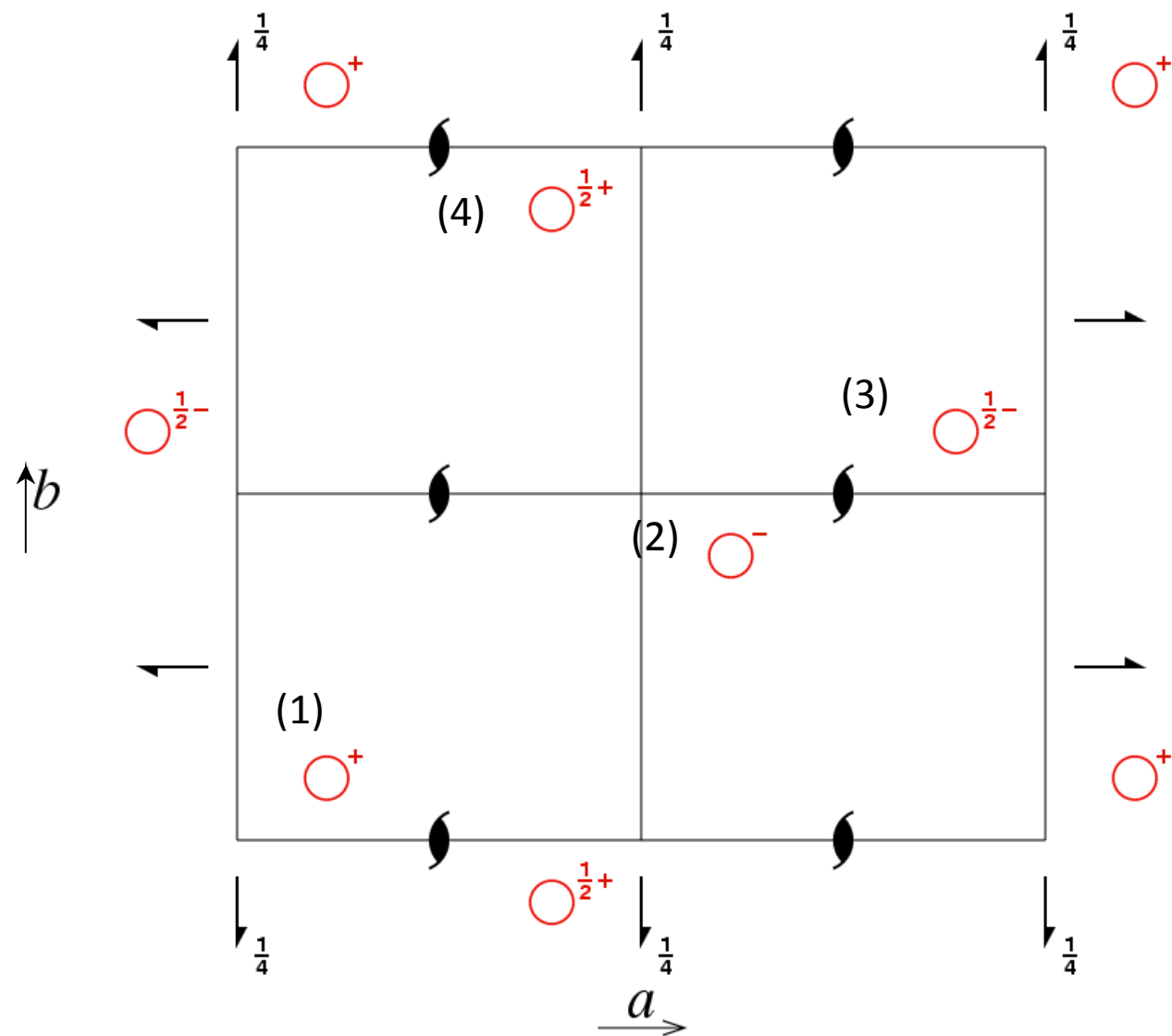


図3-27 L-グルタミン酸の空間群 $P2_12_12_1$ 結晶の構造(ステレオ図)

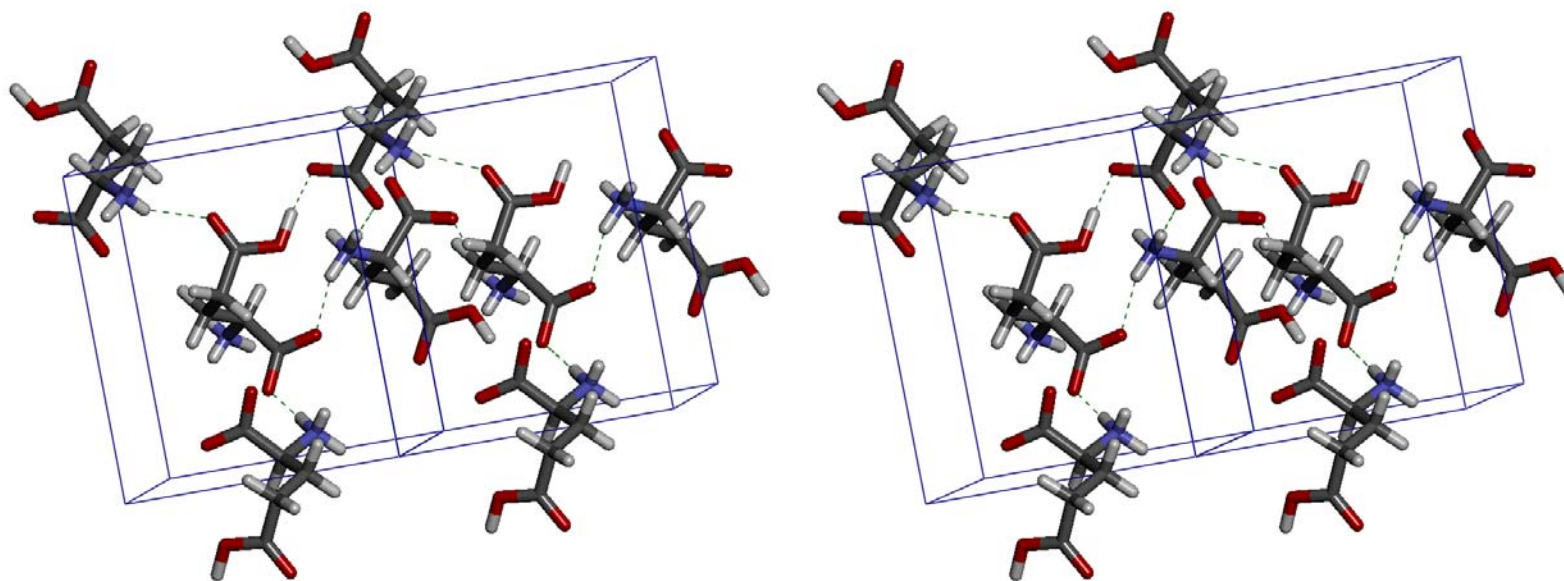


図4-1 温度を下げると原子・分子の動きが小さくなる(動きを矢印で示す)

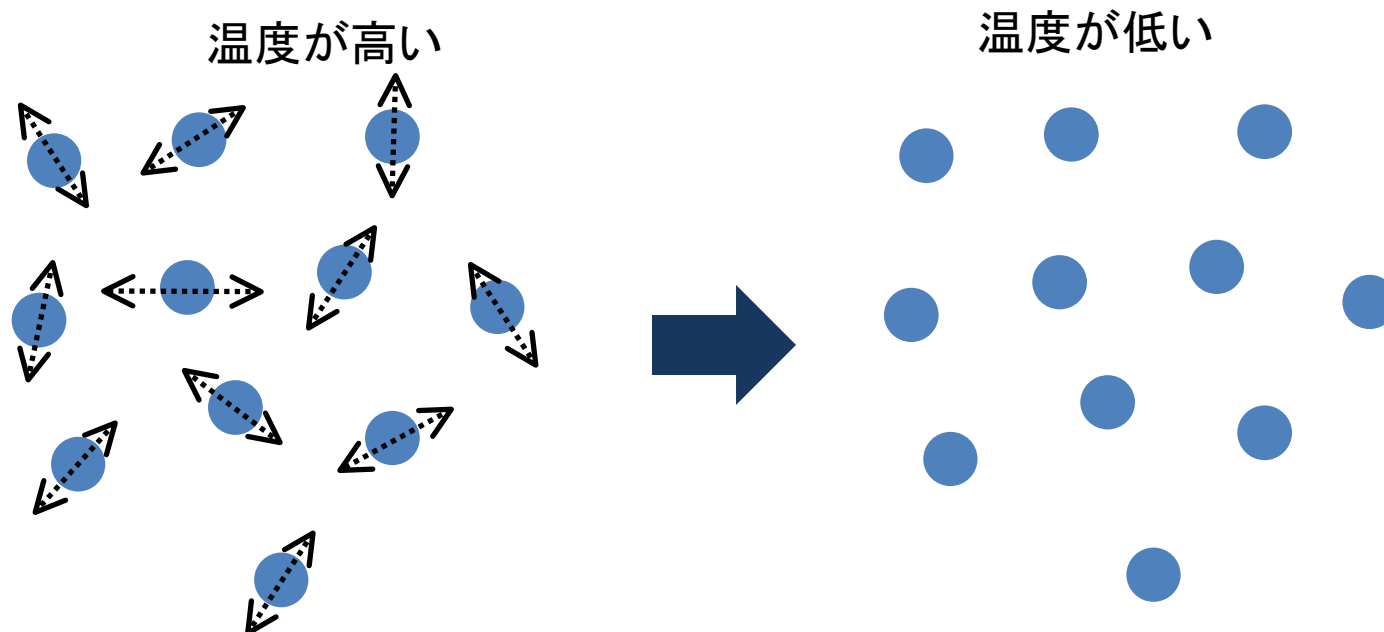


図4-2 濃度を高くしないと原子間に十分な引力が働かない

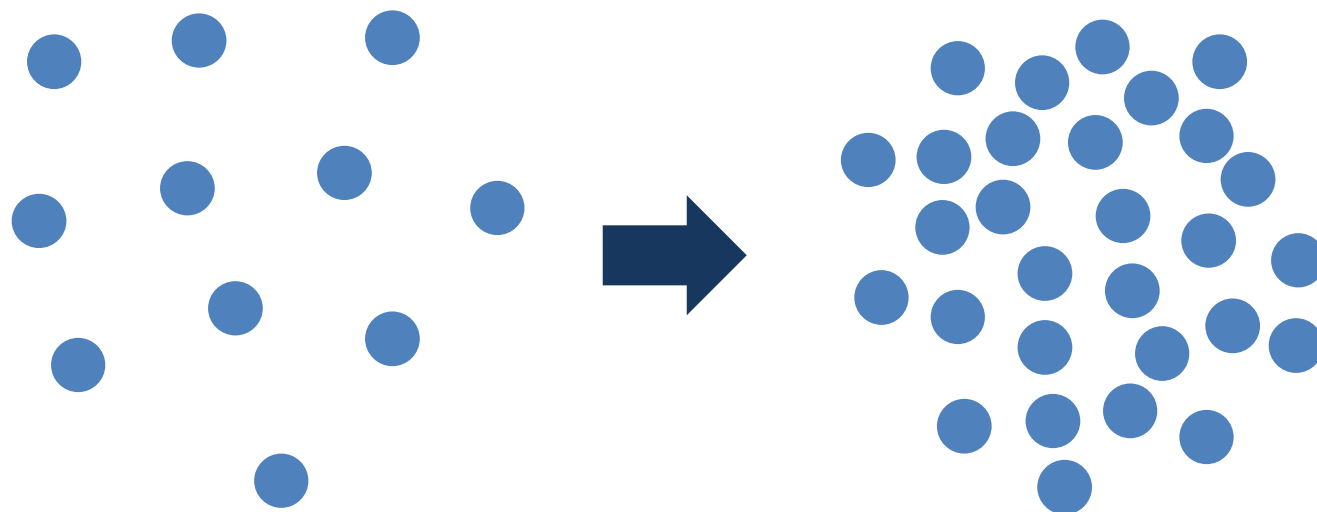
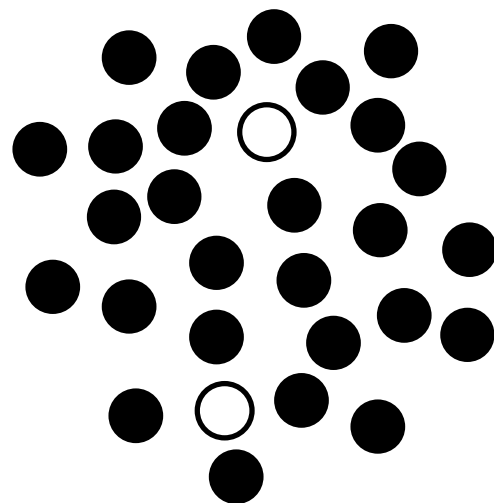
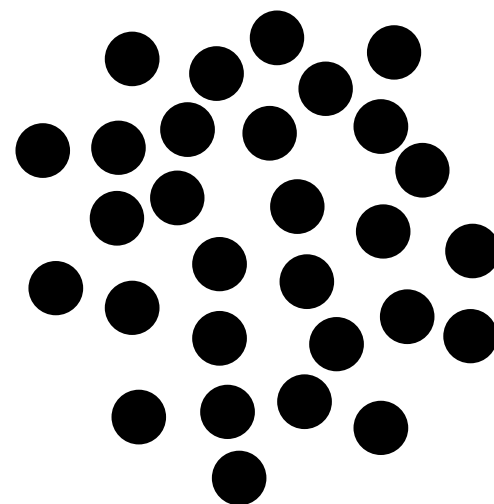


図4-3 純度が低いと結晶になり難い



結晶になり難い



結晶になる

図4-4 縦横高さ方向に5個の単位胞が三次元規則配列し、その内の一つ（白）だけが異なる物質を含んだ場合。

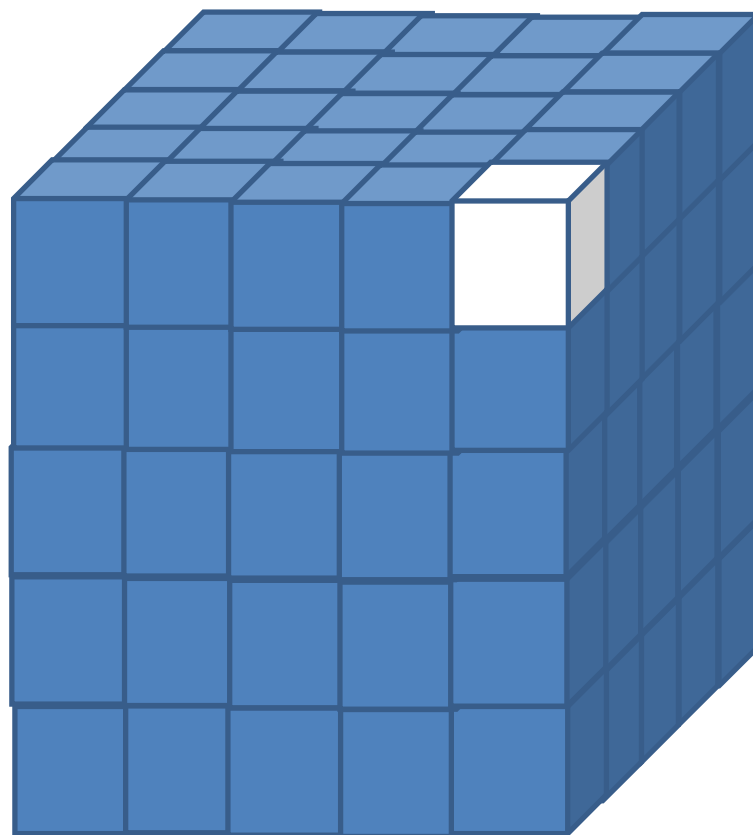


図4-5 スクロースの単斜晶系空間群 $P2_1$ の結晶構造

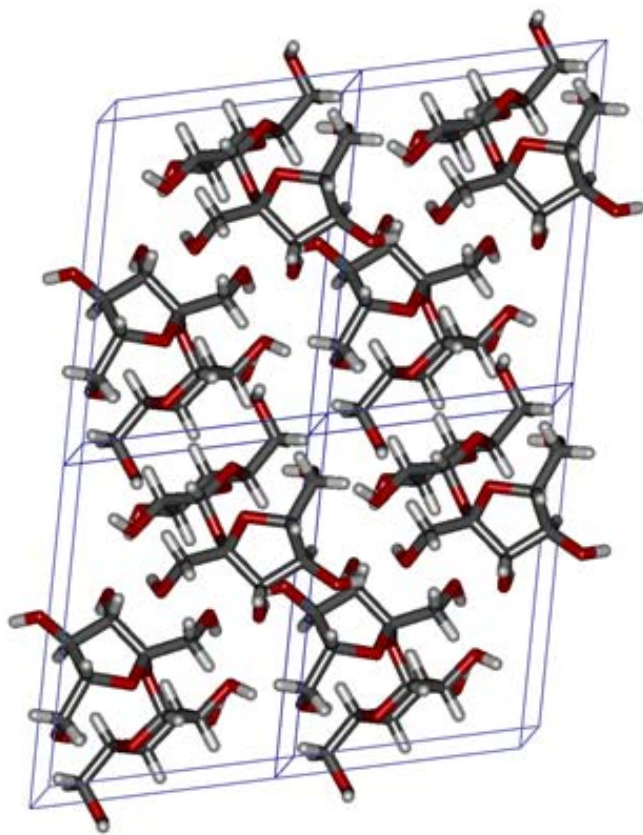


図4-6 食塩(NaCl)の結晶(ステレオ図)。
小さい球は

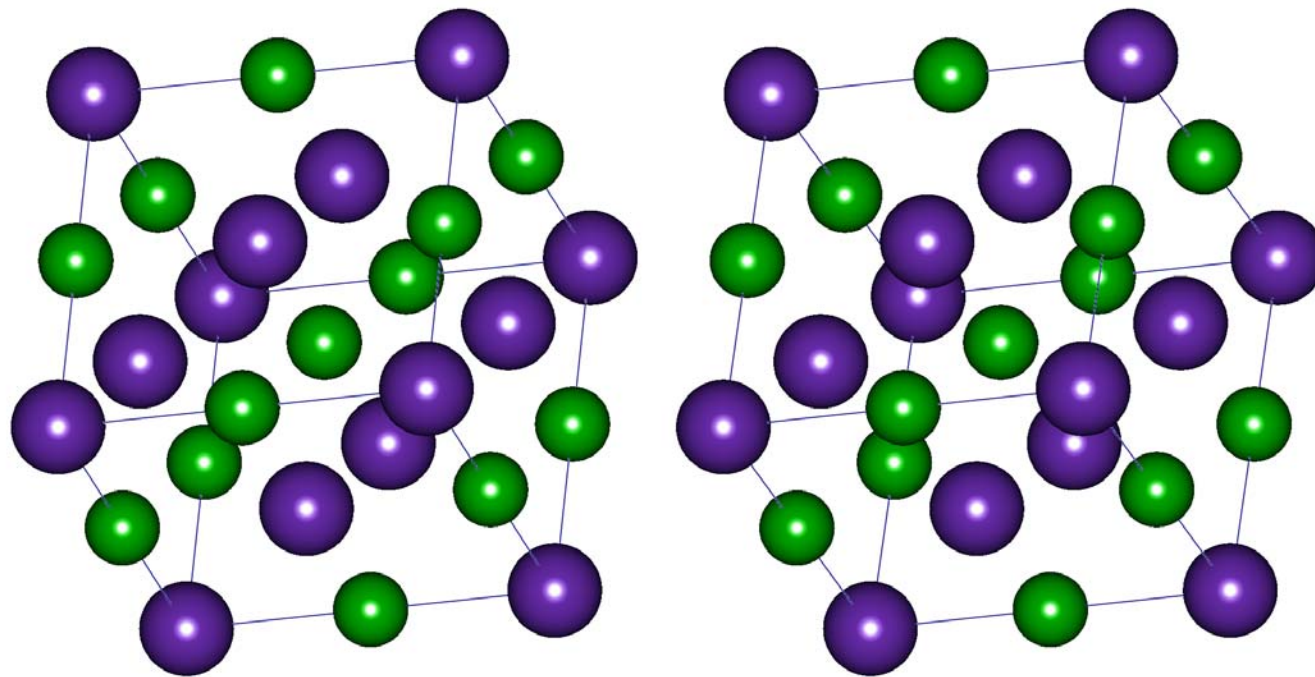


図4-7 立方晶系空間群 $Fm\bar{3}(-)m$ の対称性

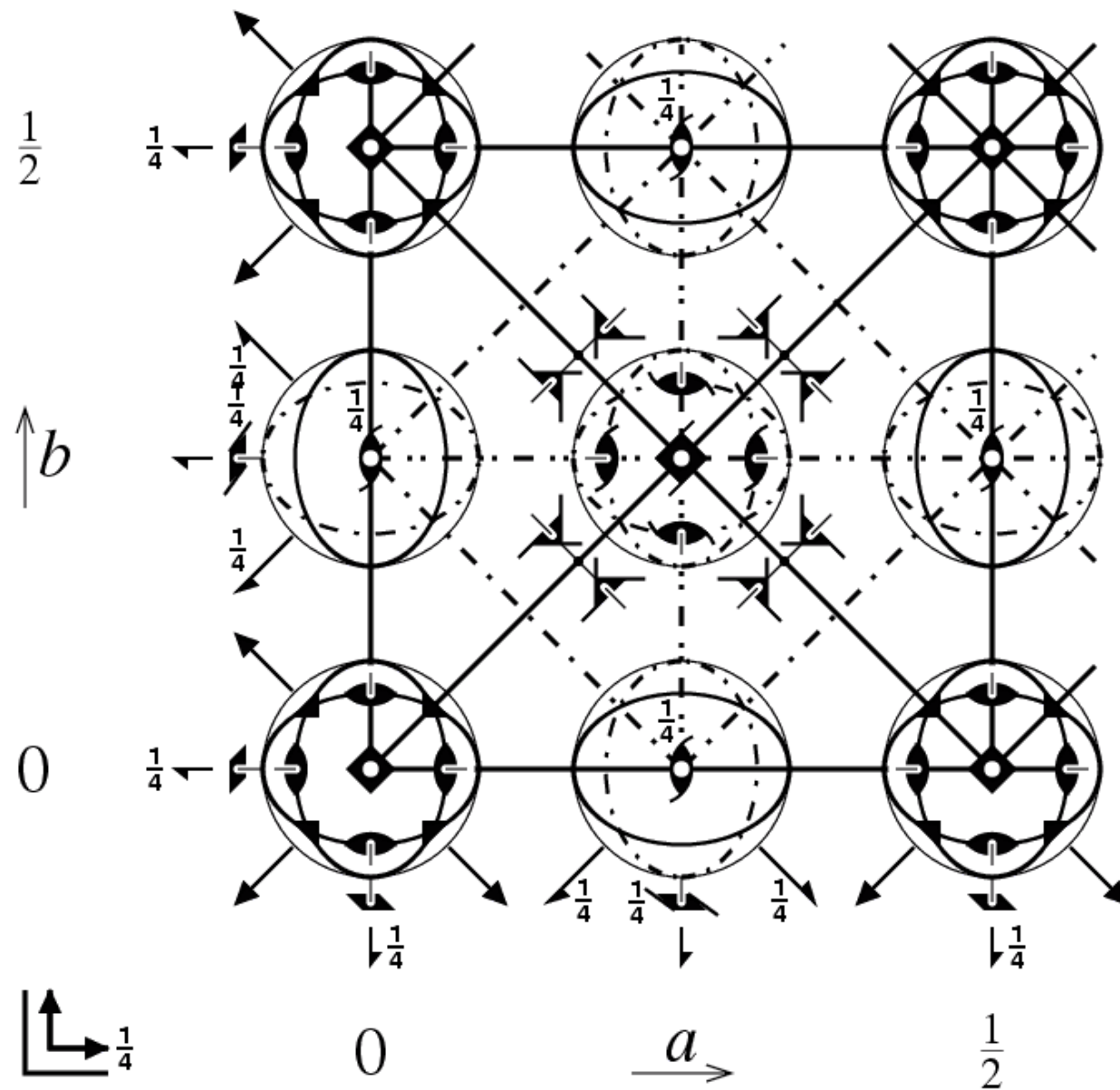


図4-8 ミョウバンの結晶構造

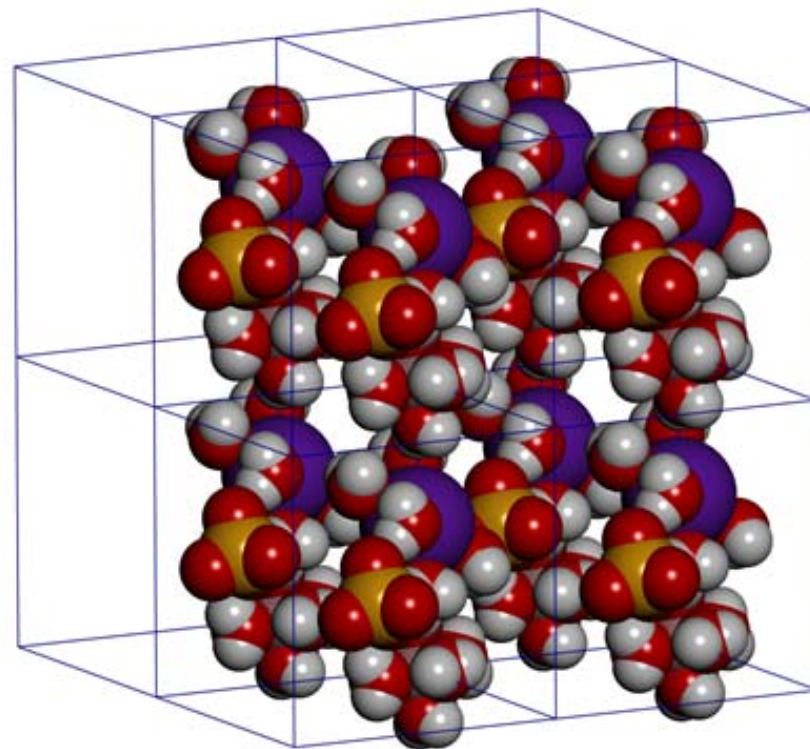
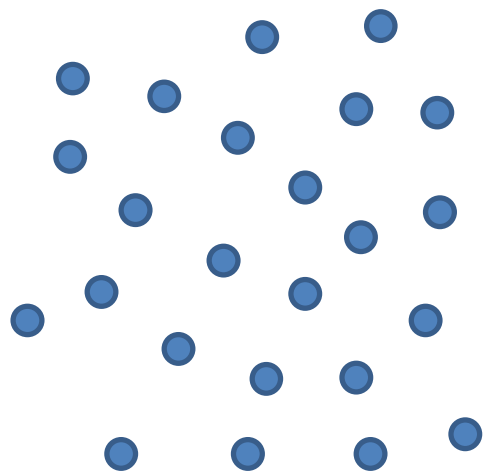
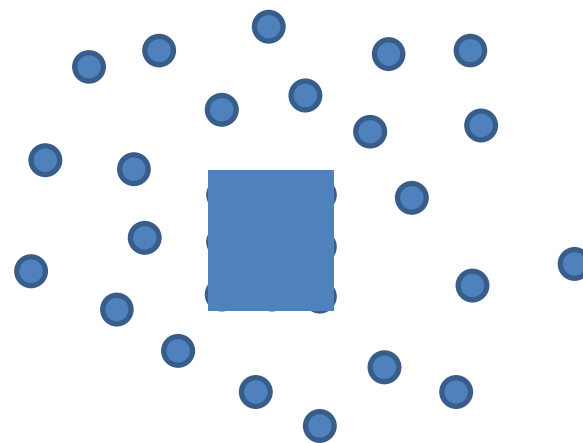


図4-9 結晶核の生成。離れた原子・分子(a)が集合して、少数の原子・分子が規則配列した結晶核(b)が生成する。



(a)



(b)

図4-10 結晶核の表面では原子・分子の着脱が激しく起こる

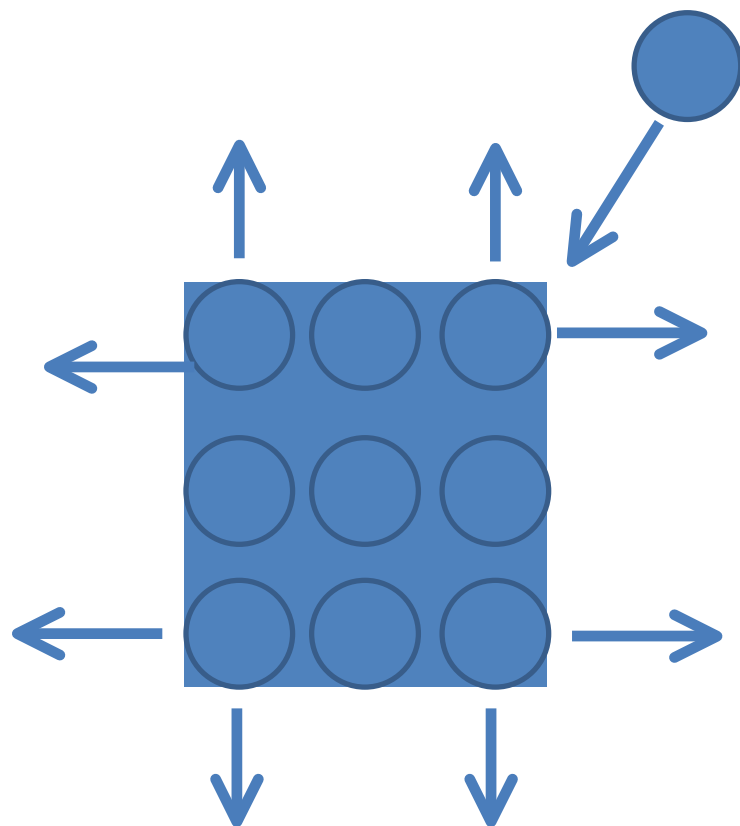


図4-11 結晶核からの結晶の成長

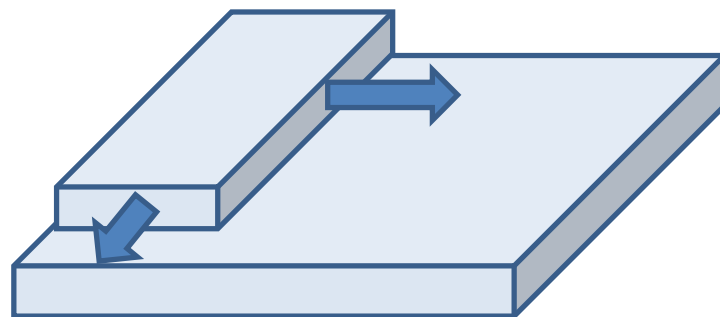
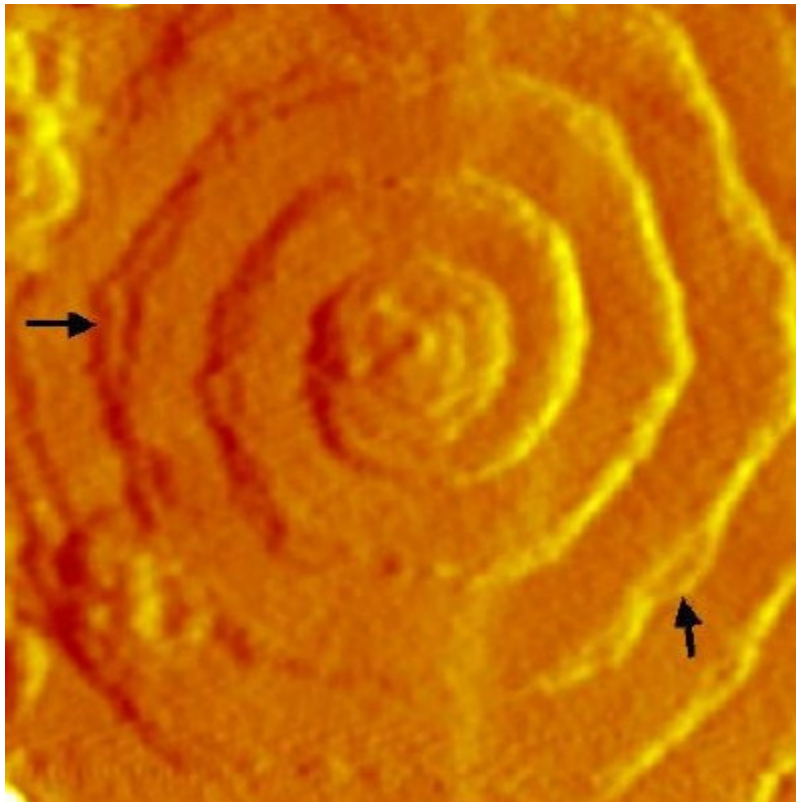


図4-12 らせん転位

(a) グラファイトの結晶成長過程



<http://nano.mtu.edu/images/greatlakesgraphite/FundSpiral.jpg>

(b) 酵母転位RNA結晶



Nucleic Acids Research, Vol. 25, No. 13,
2582–2588 (1997)

図4-13 水に対する食塩とミョウバンの溶解性

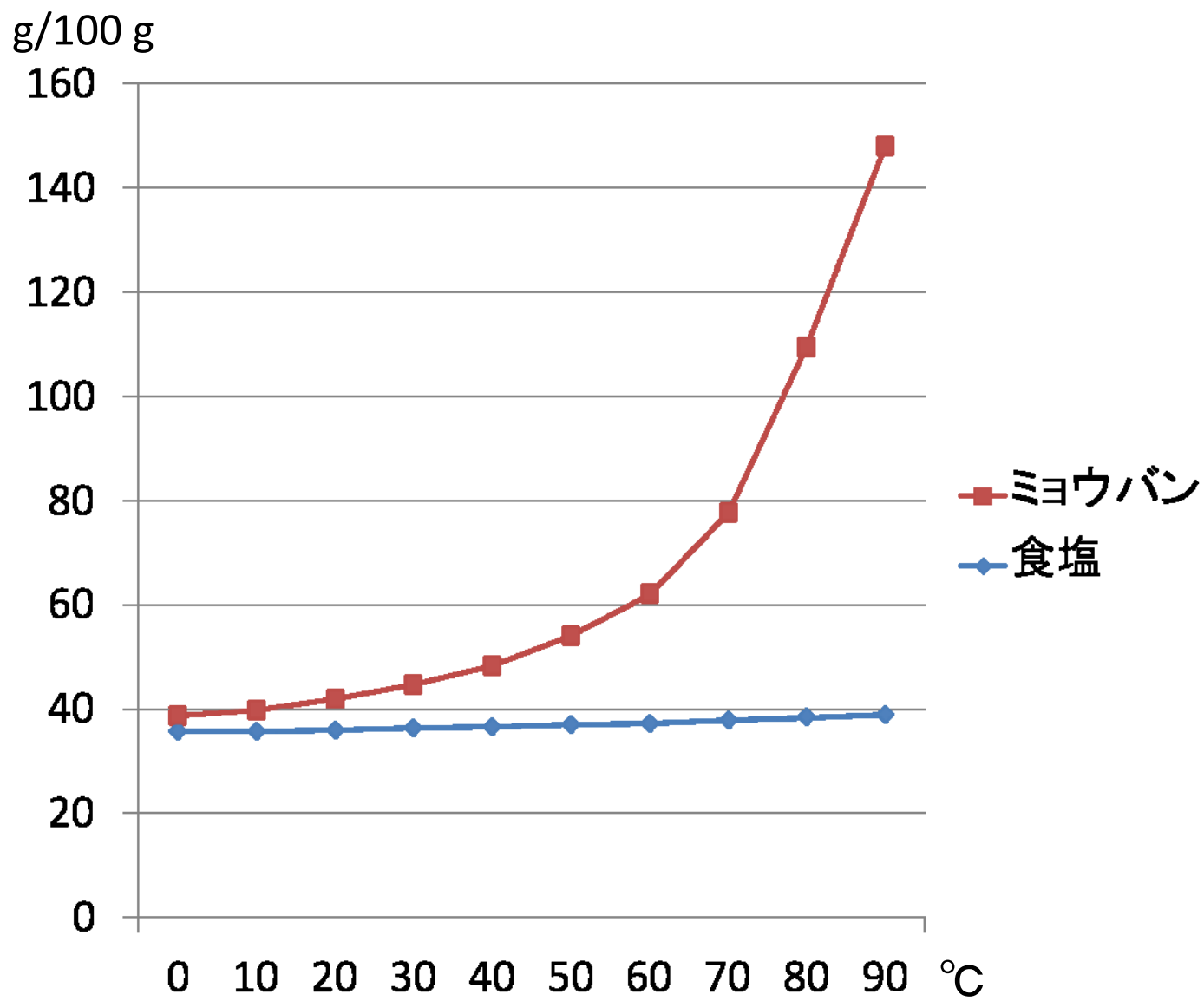
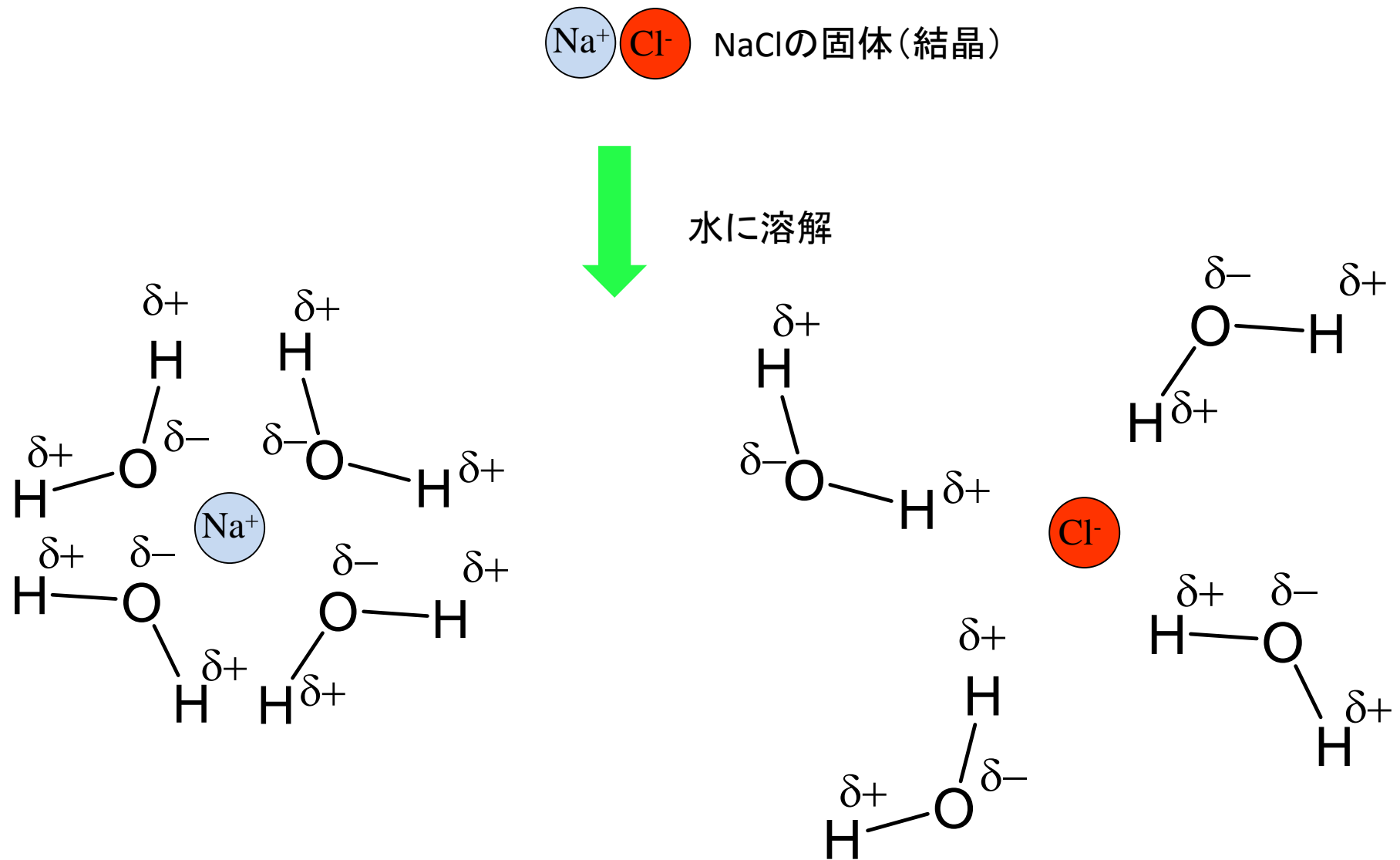


図4-14 食塩(NaCl)が水に溶ける



Na^+ と Cl^- イオンの周りを水分子が取り囲み、イオン同士は遠く引き離される

図4-15 蒸発法による結晶化

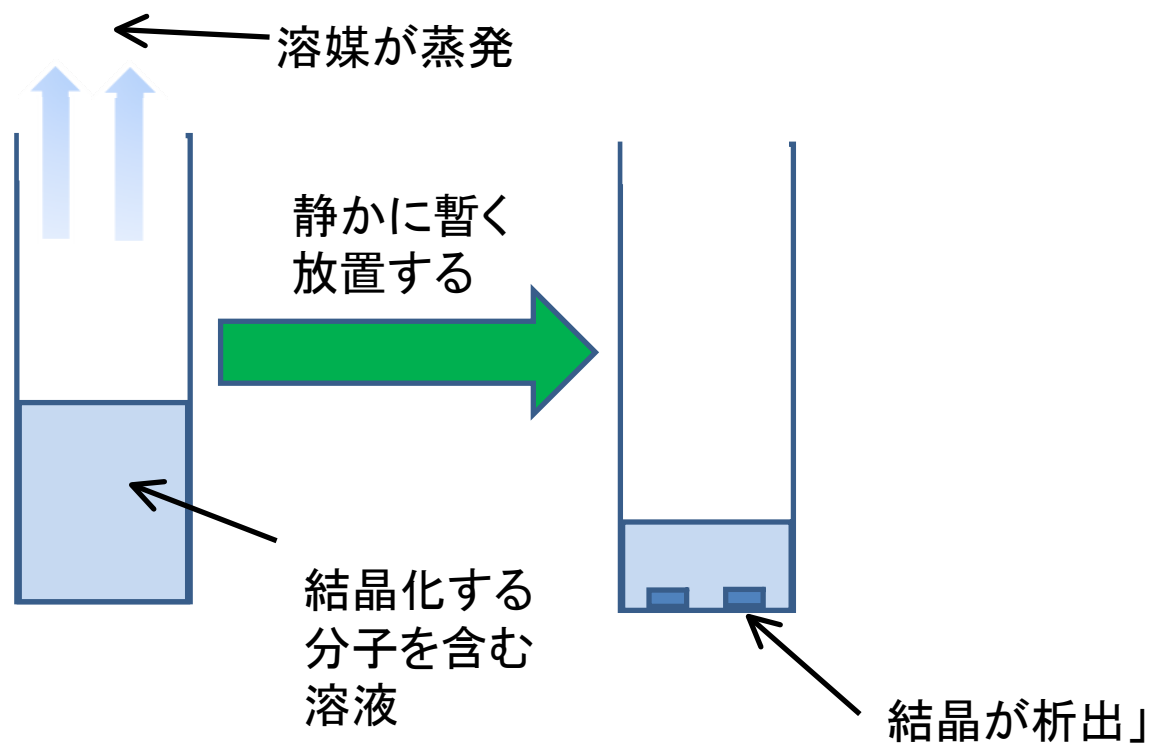


図4-16 蒸気拡散法による結晶化

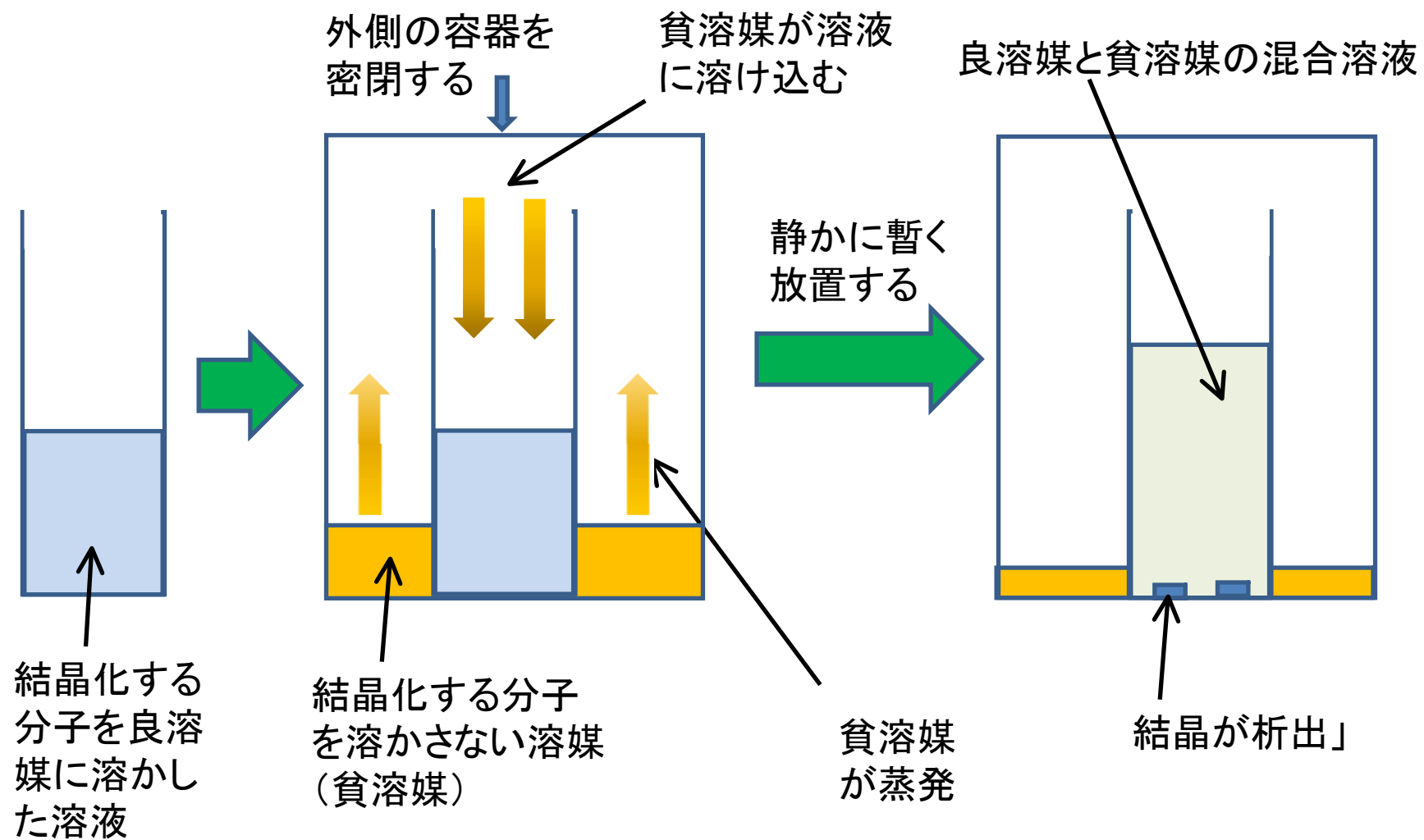


図4-17 ハンギング・ドロップ蒸気拡散法による結晶化

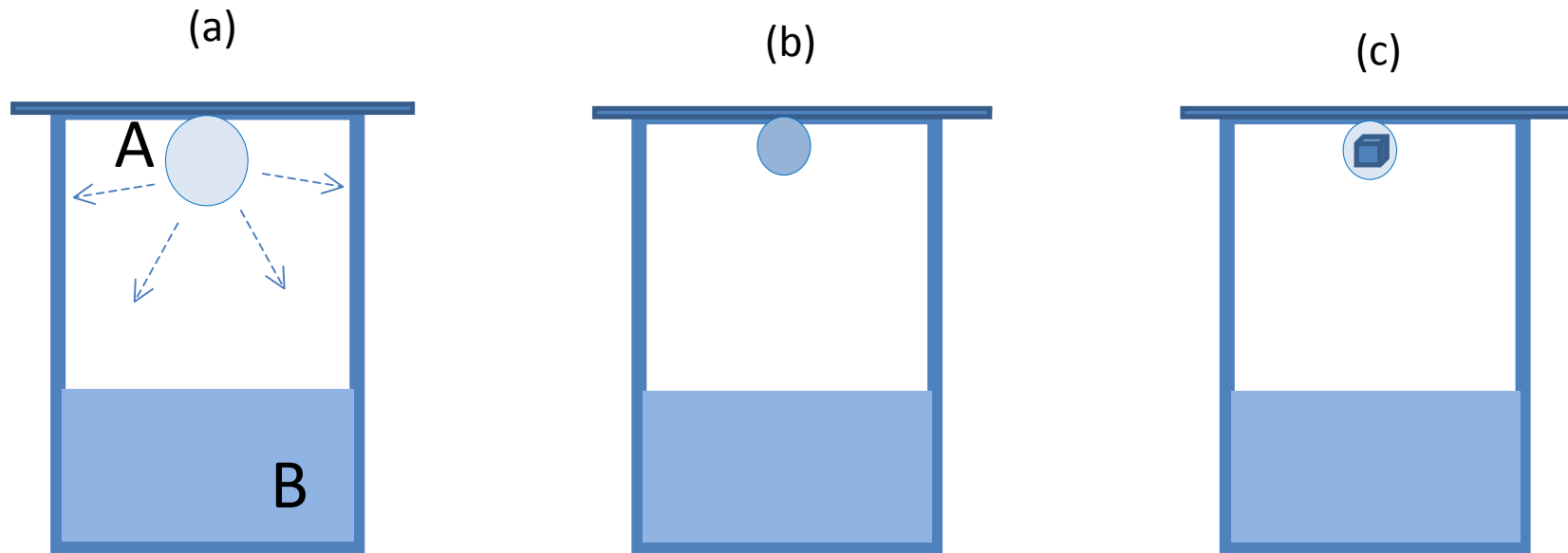
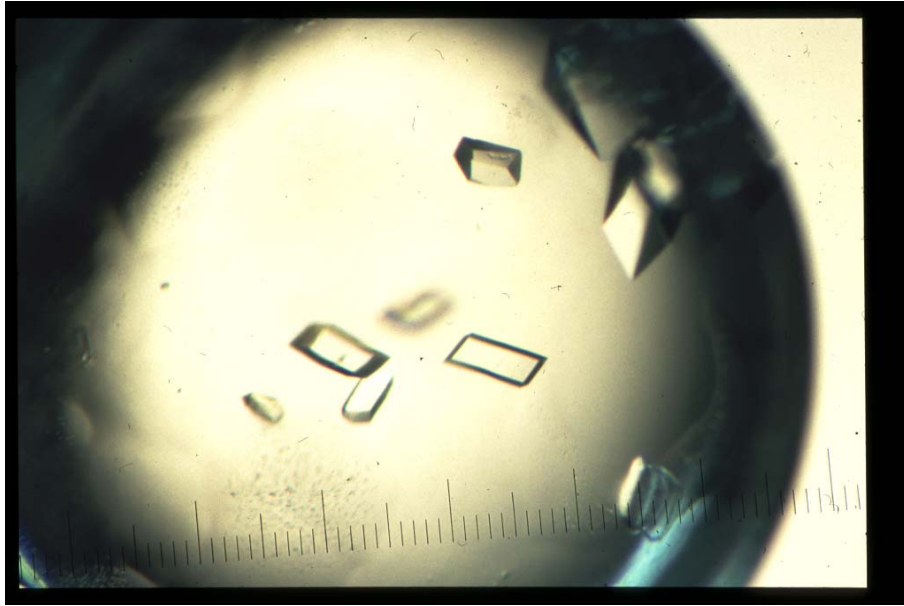


図4-18 ハンギングドロップ法で成長させたタンパク質の結晶
(a)



(b)

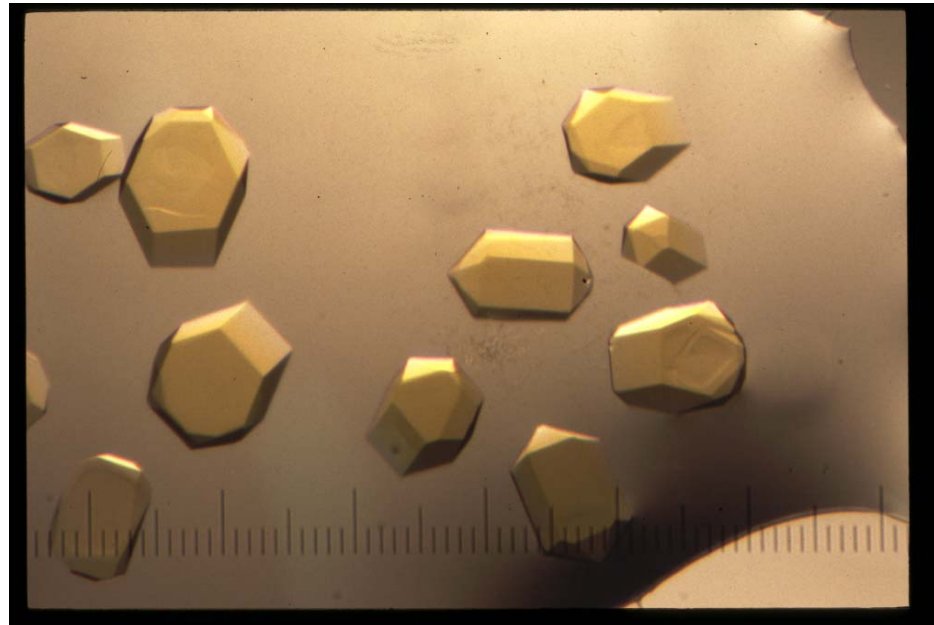


図4-19 シリコン結晶を作るチョクラルスキー法

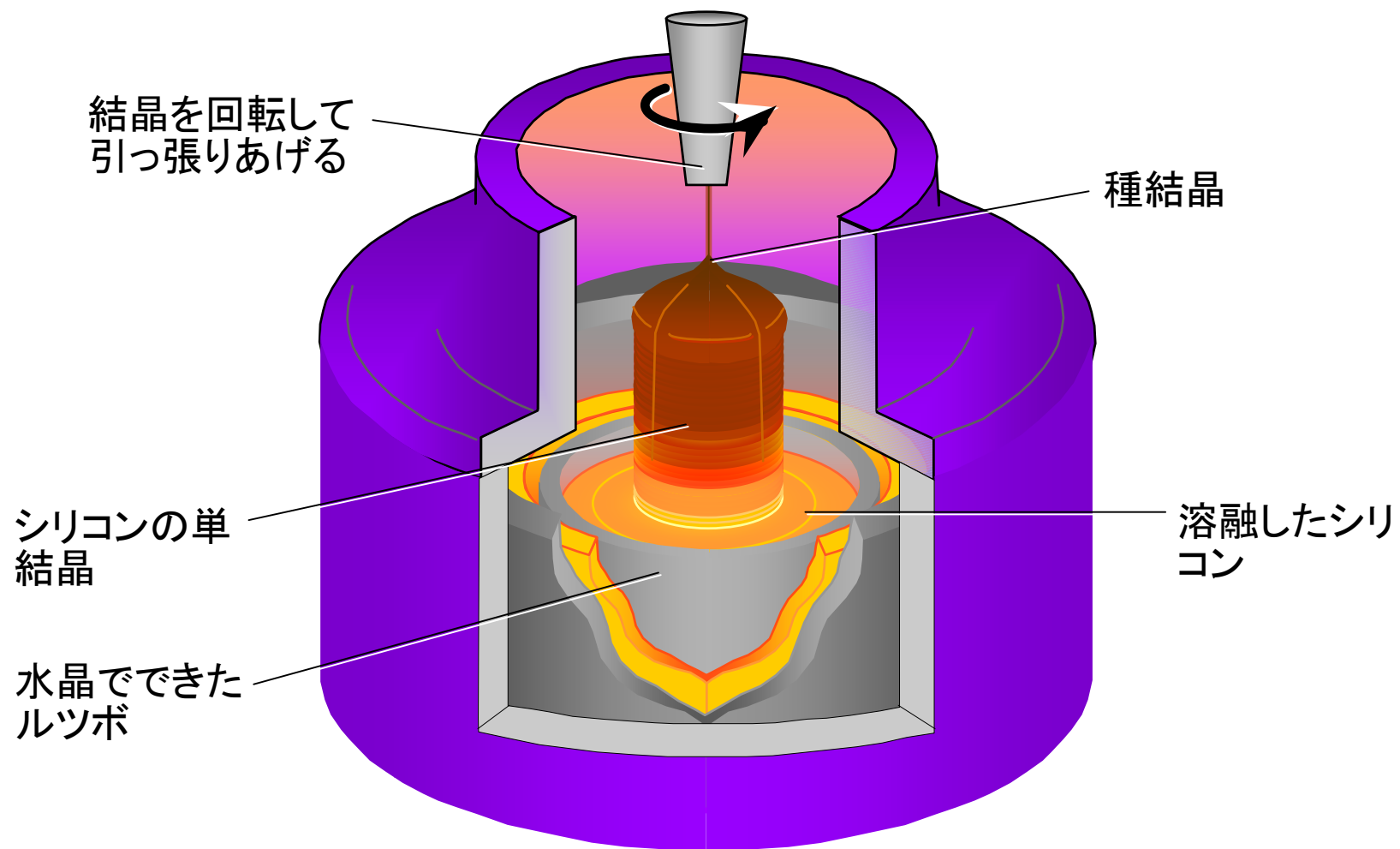
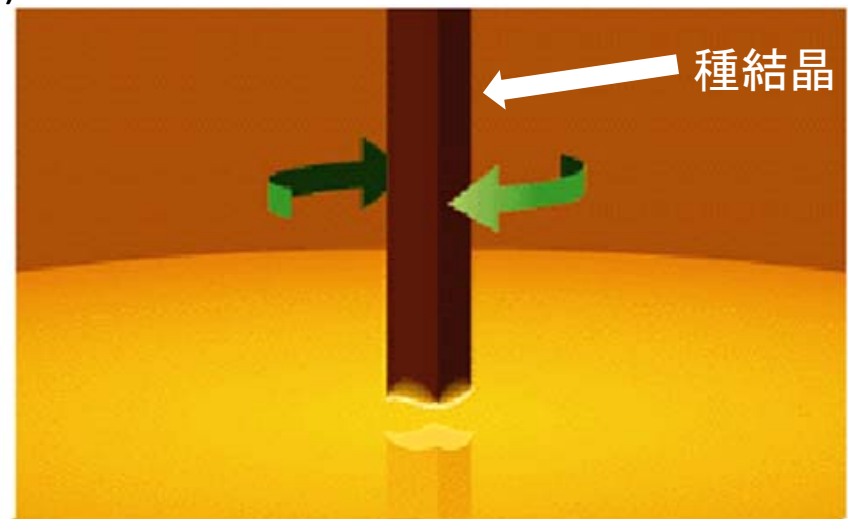


図4-20 チョクラスキー法の手順

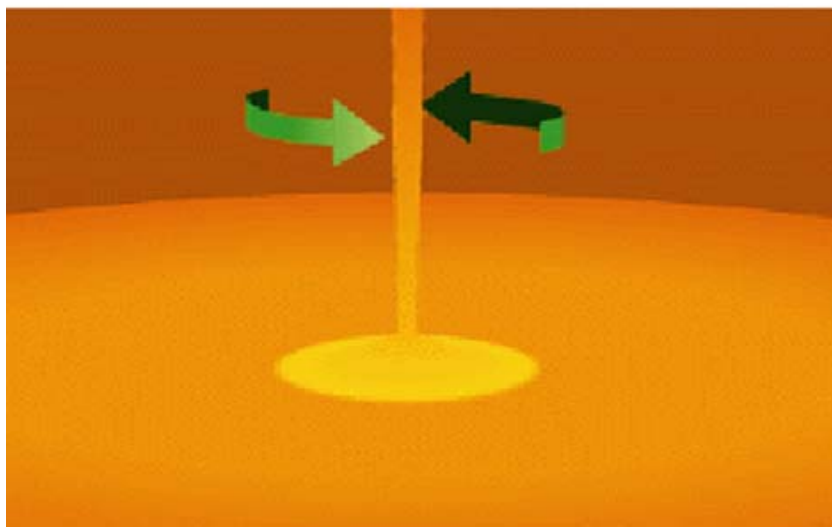
(a)



(b)



(c)



(d)

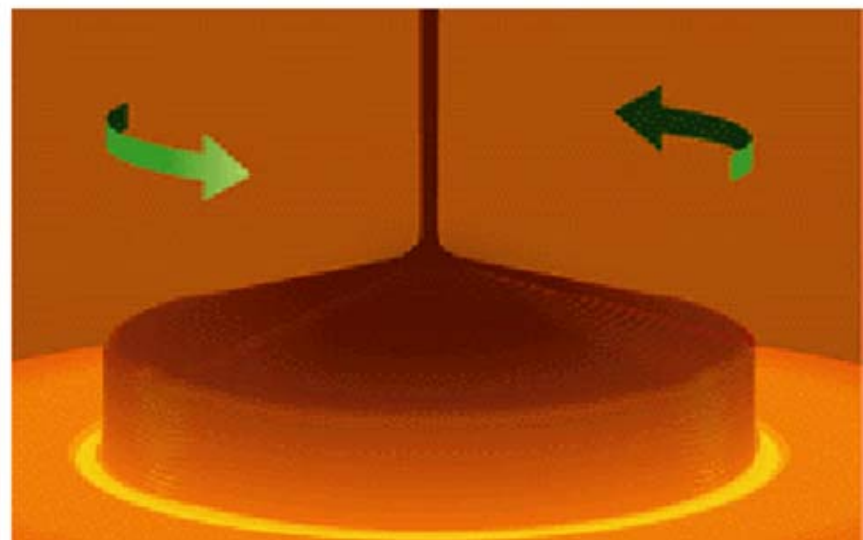


図4-21 シリコン結晶

(a) インゴット



(b) 結晶構造

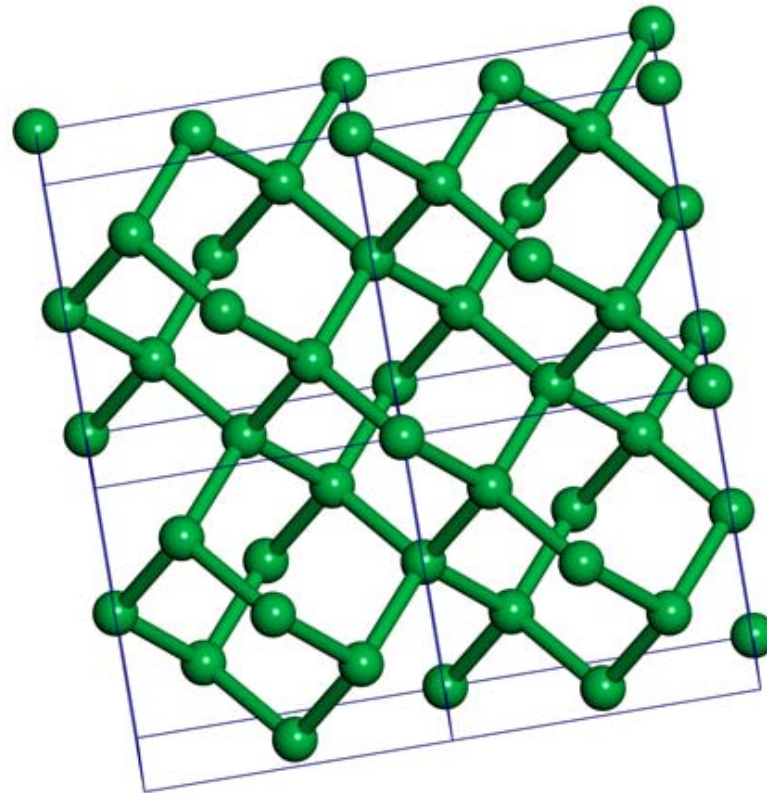


図4-22 昇華（気相結晶化）法の装置の例

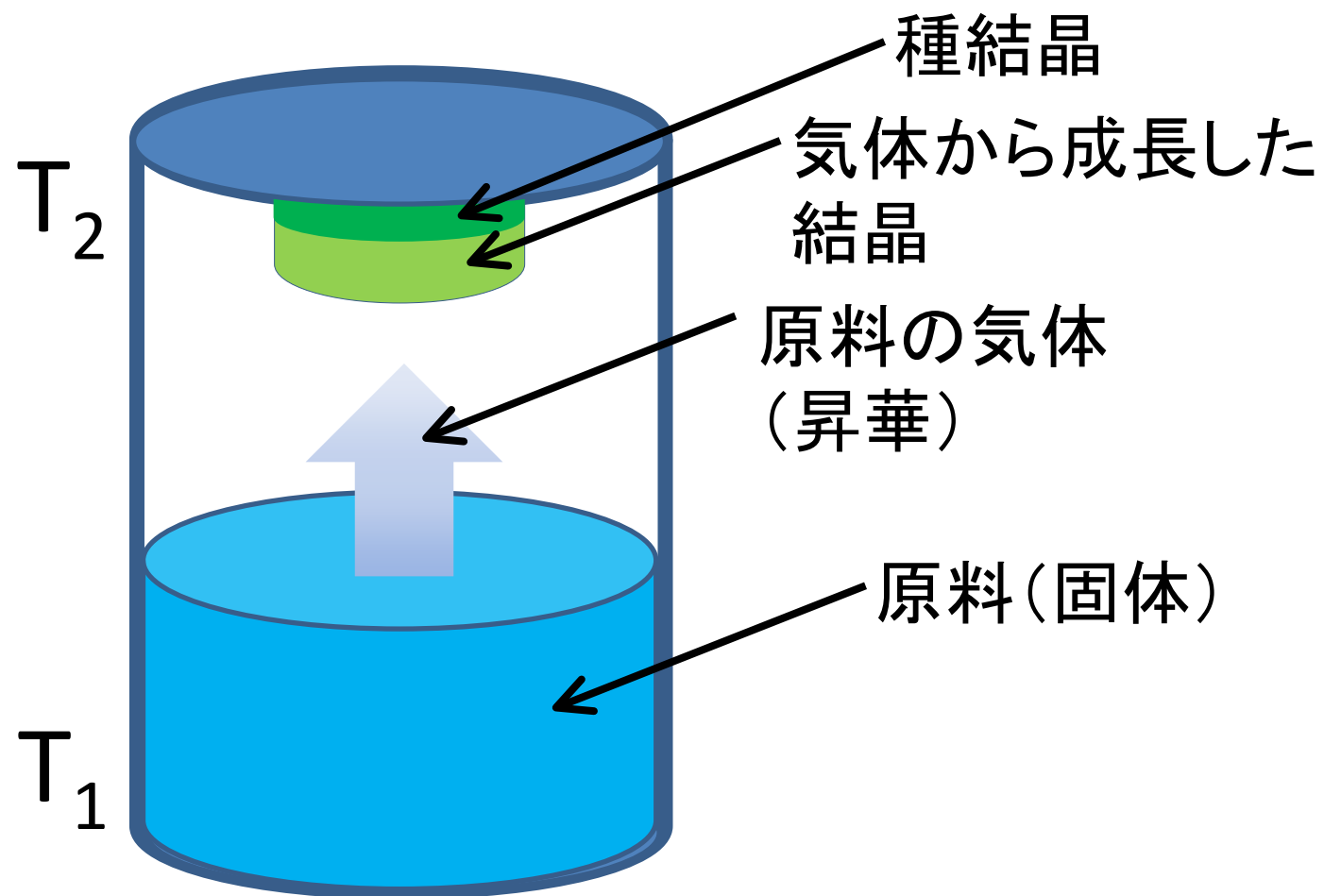


図4-23 SiC(モアサナイト)の結晶構造

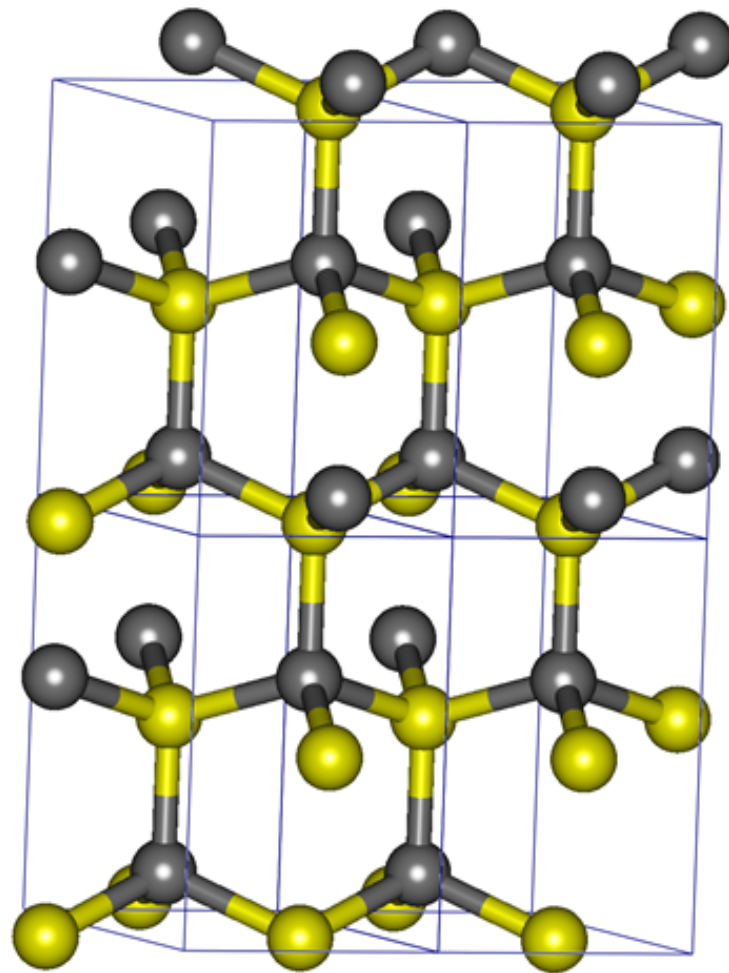


図5-1 偏光フィルターの原理

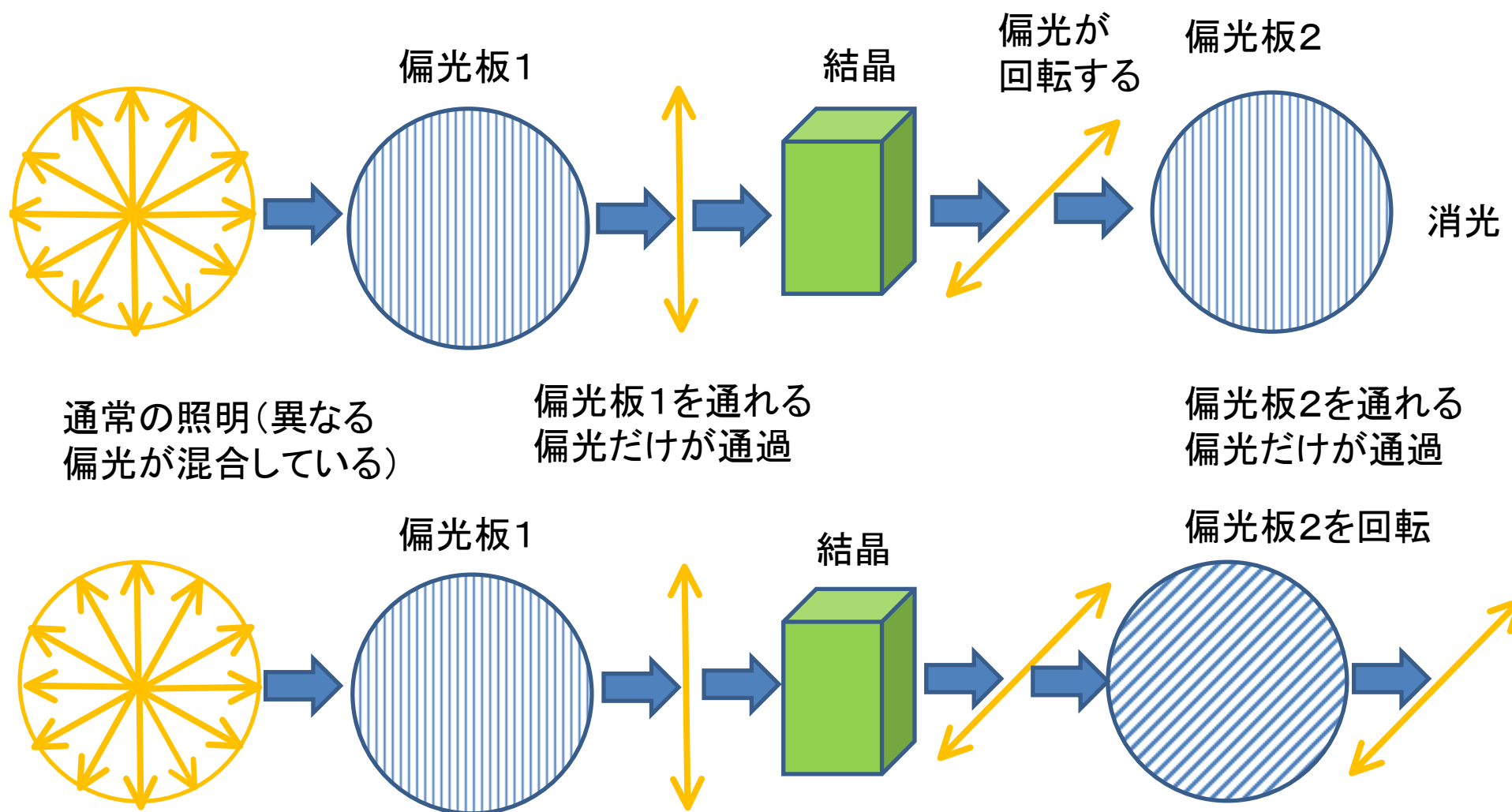
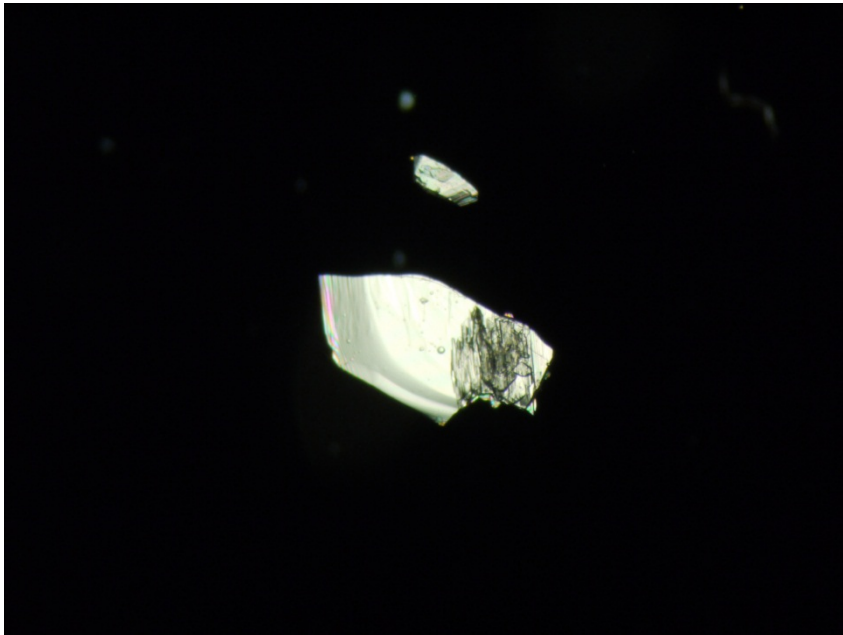


図5-2 L-グルタミン酸の結晶の消光。(a)で輝いている結晶を二枚の偏光板の間に回転すると(b)のように消光する。

(a)



(b)

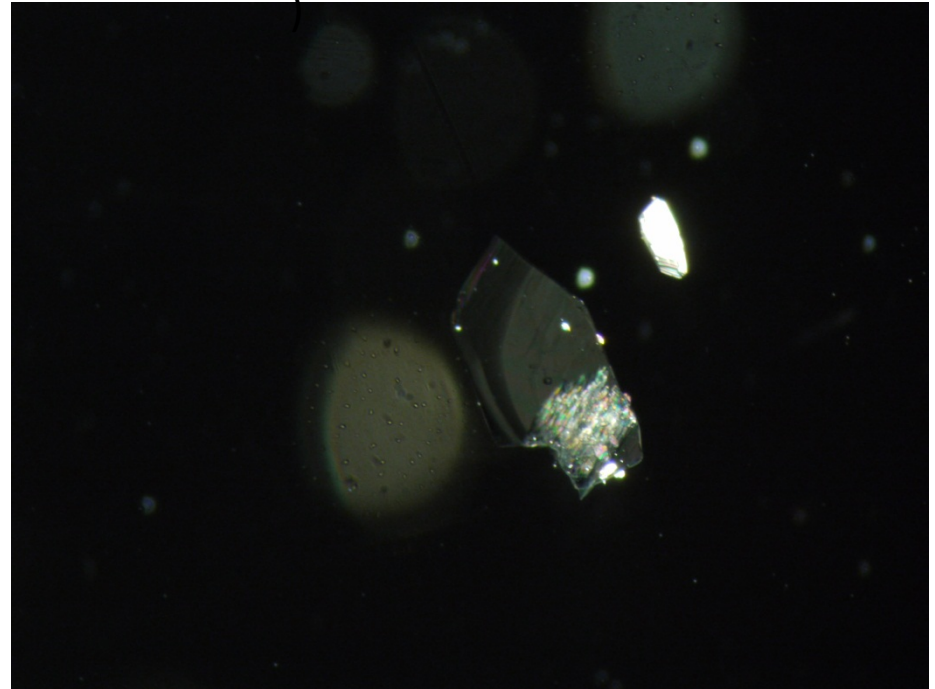


図5-3 偏光板を通した光で見たミヨウバンの結晶。まったく消光を示さない。

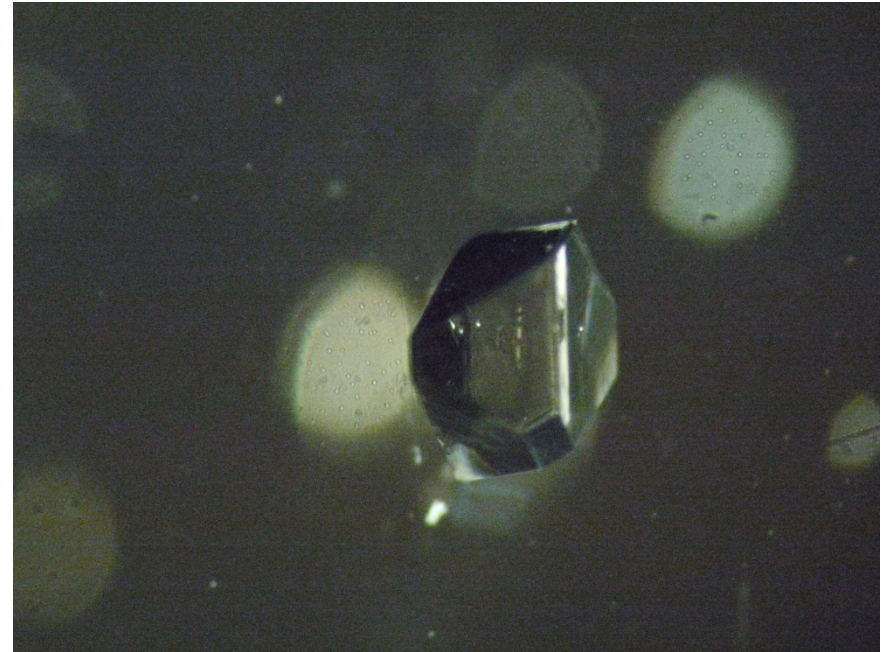
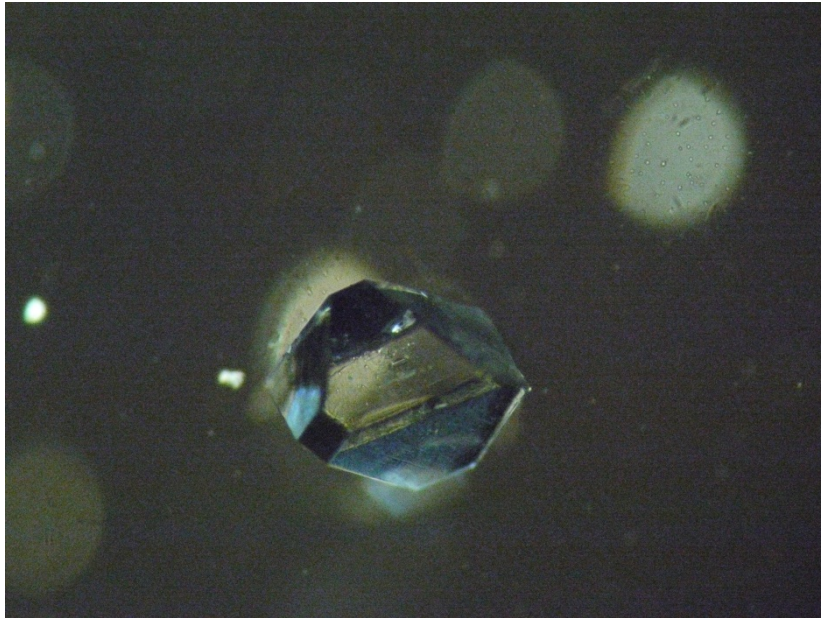


図5-4 スリットによる光の回折。スリットの数と回折光の鋭さの関係。

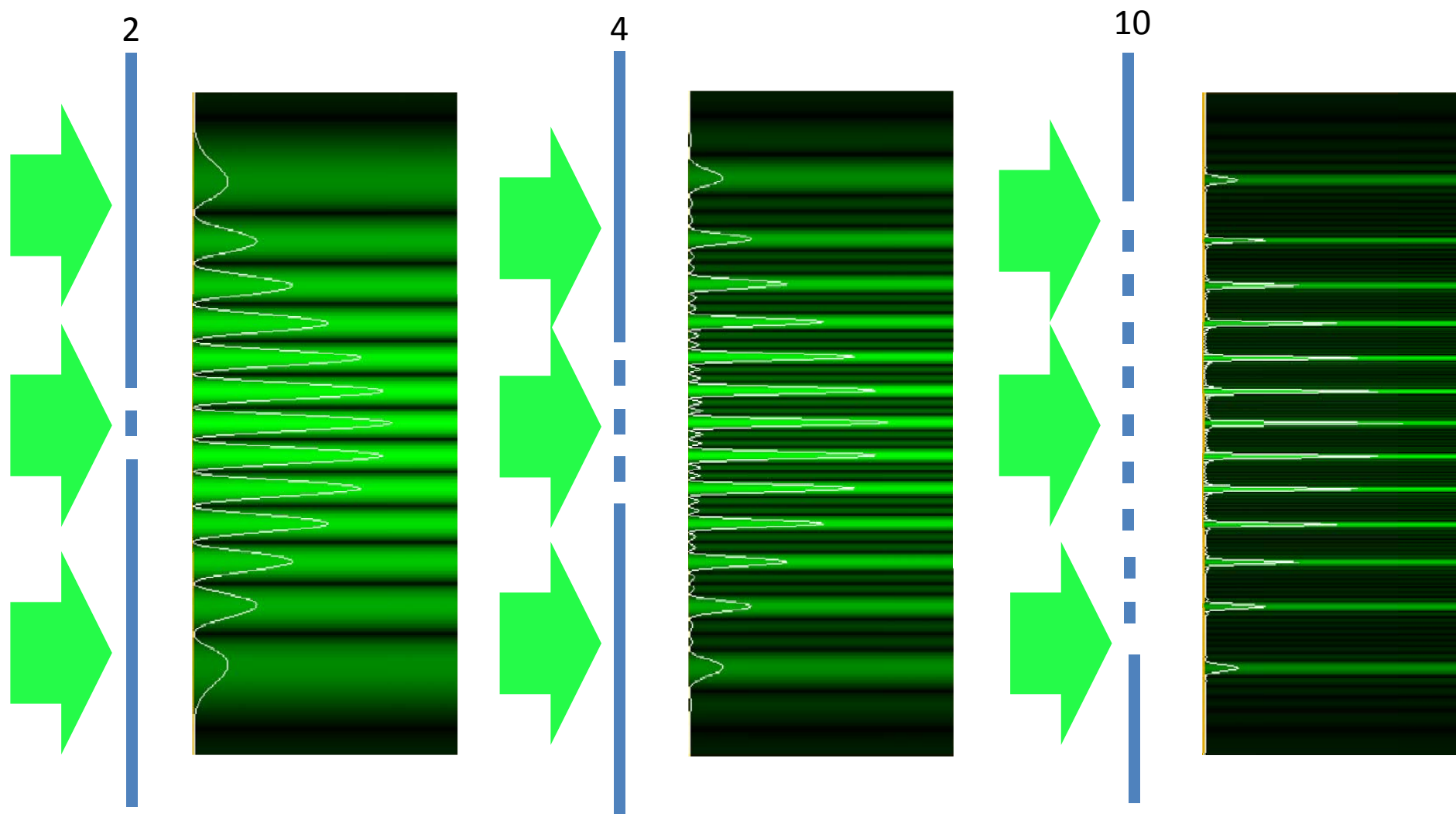
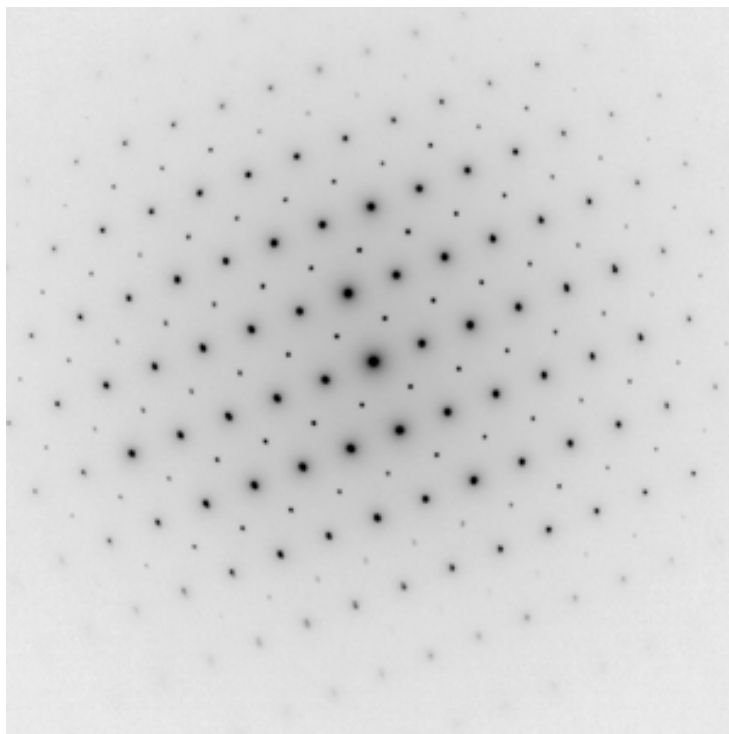


図5-5 結晶(a)と結晶でない固体 (b)によるX線回折

(a)



(b)

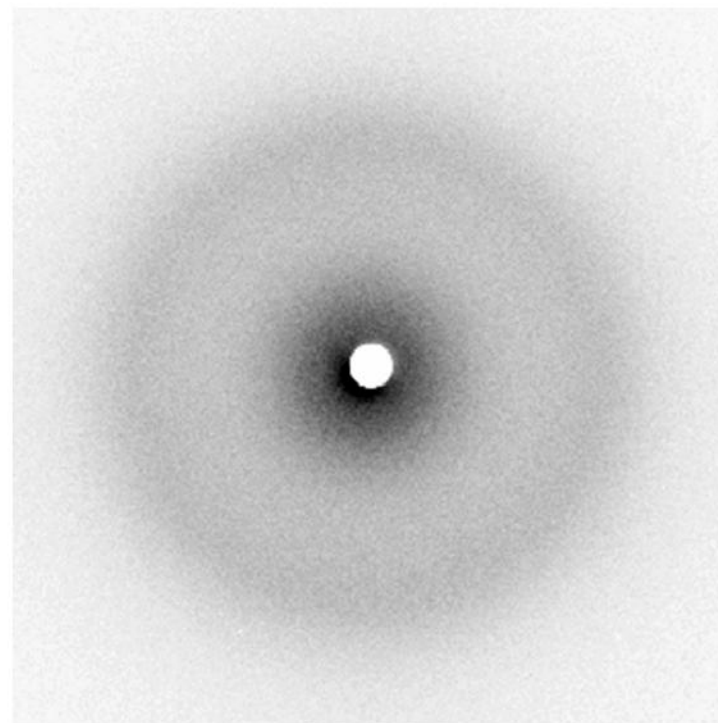
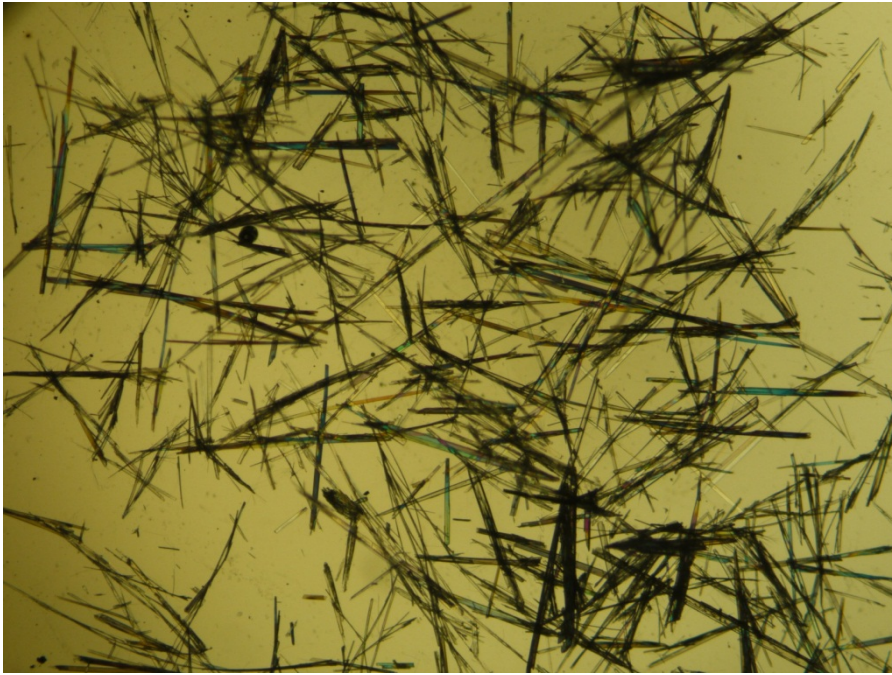


図5-6 多結晶の顕微鏡写真(a)とX線回折(粉末X線回折)(b)

(a)



(b)

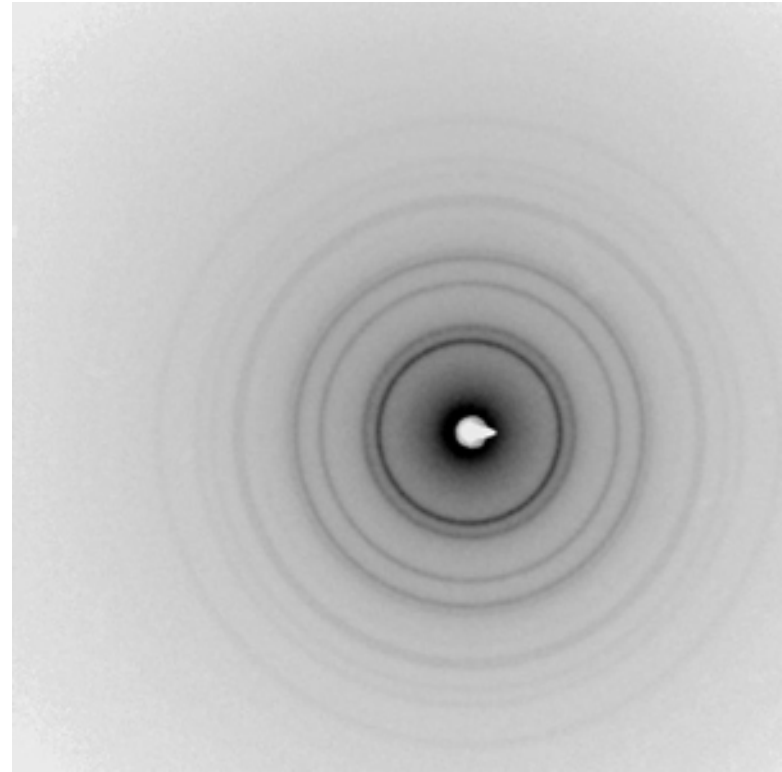


図5-7 ダイヤモンド(a)とグラファイト(b)の結晶構造

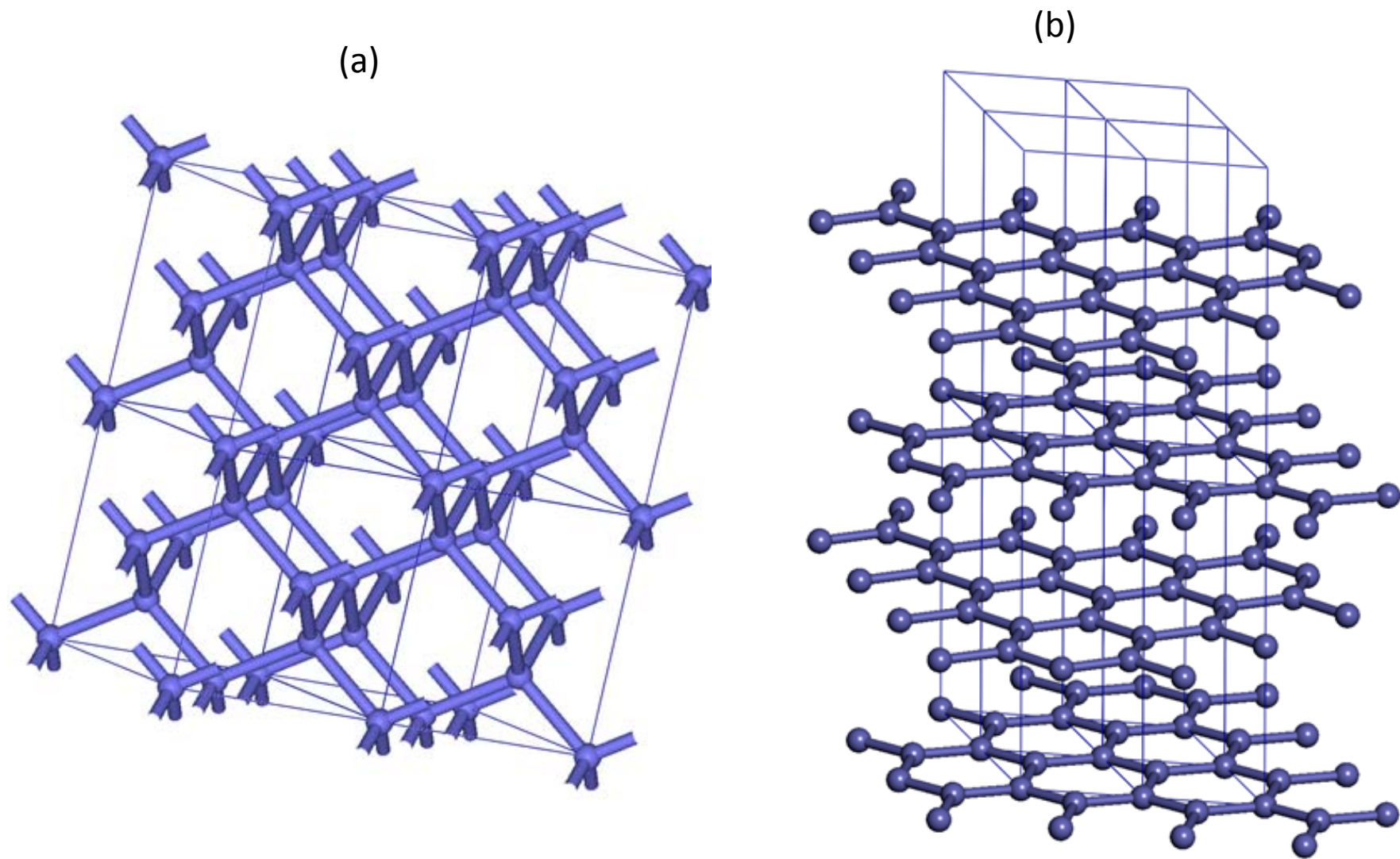
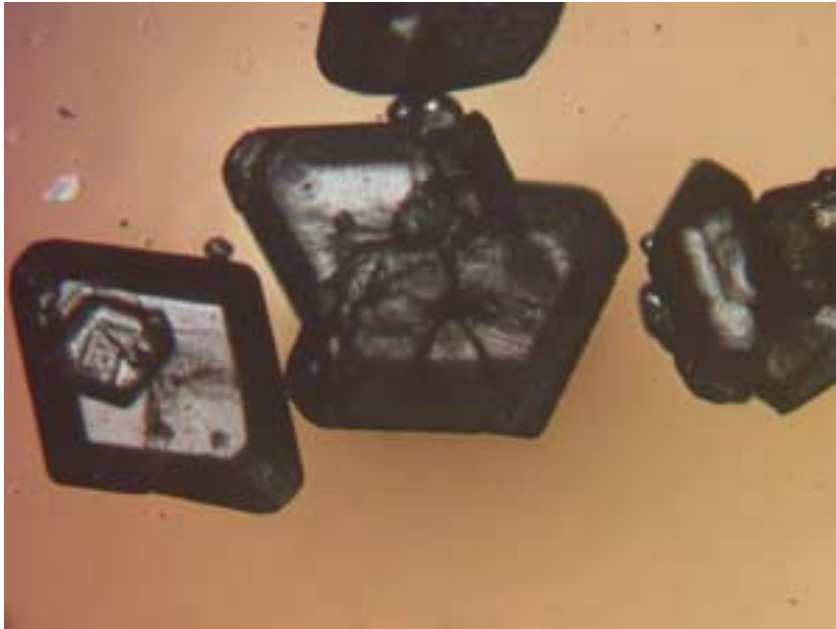


図5-8 グルタミン酸の結晶多形

(a) α 晶



(b) β 晶

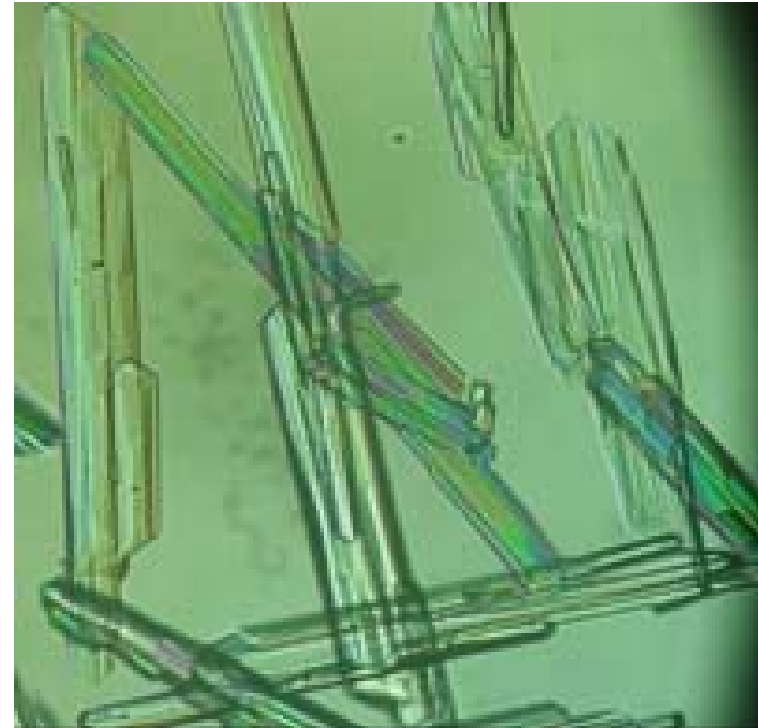


図5-9 L-グルタミン酸 α 晶(a)および β 晶(b)の結晶構造

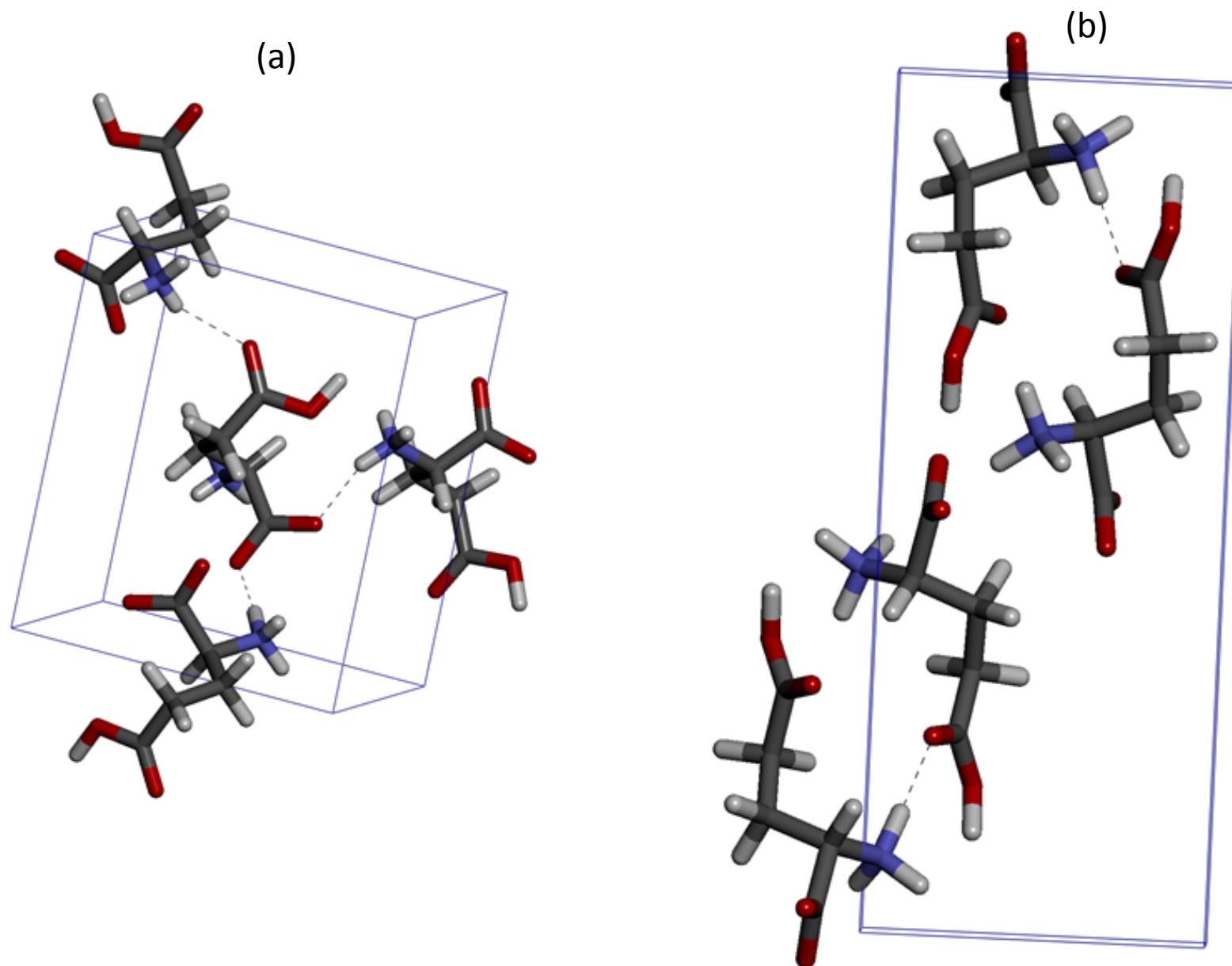


図5-10 リゾチーム(卵白)の正方晶系($P4_32_12$)の結晶(a)および単斜晶系($P2_1$)の結晶(b)の単位胞中の分子の配列

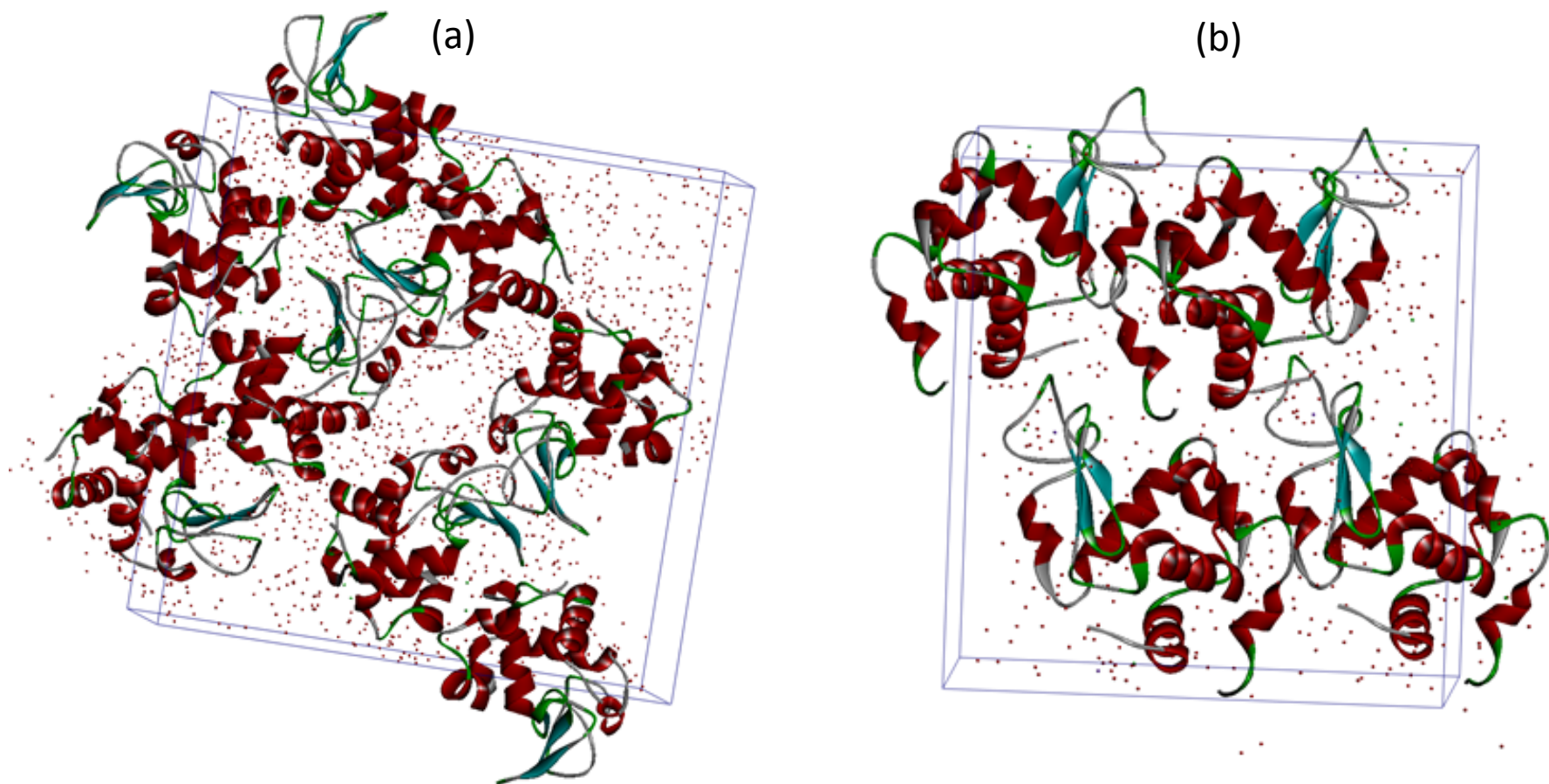


図5-11 アスパラギン・1水和物($P2_12_12_1$)の結晶構造(a)および降圧薬アリスキレンがレニン分子を阻害する様子(b)

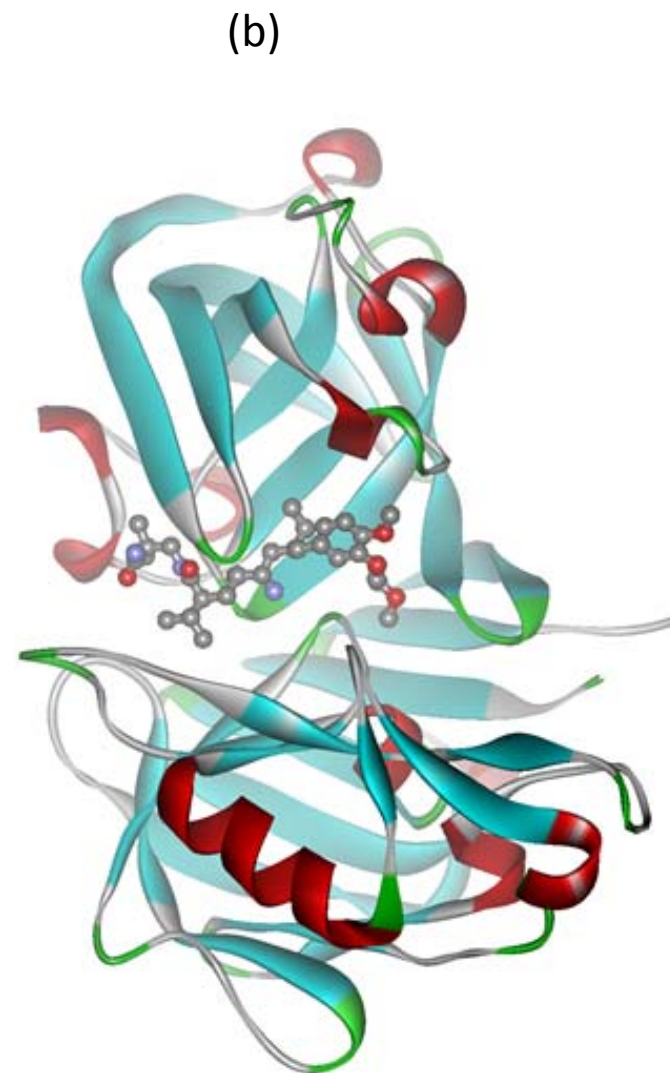
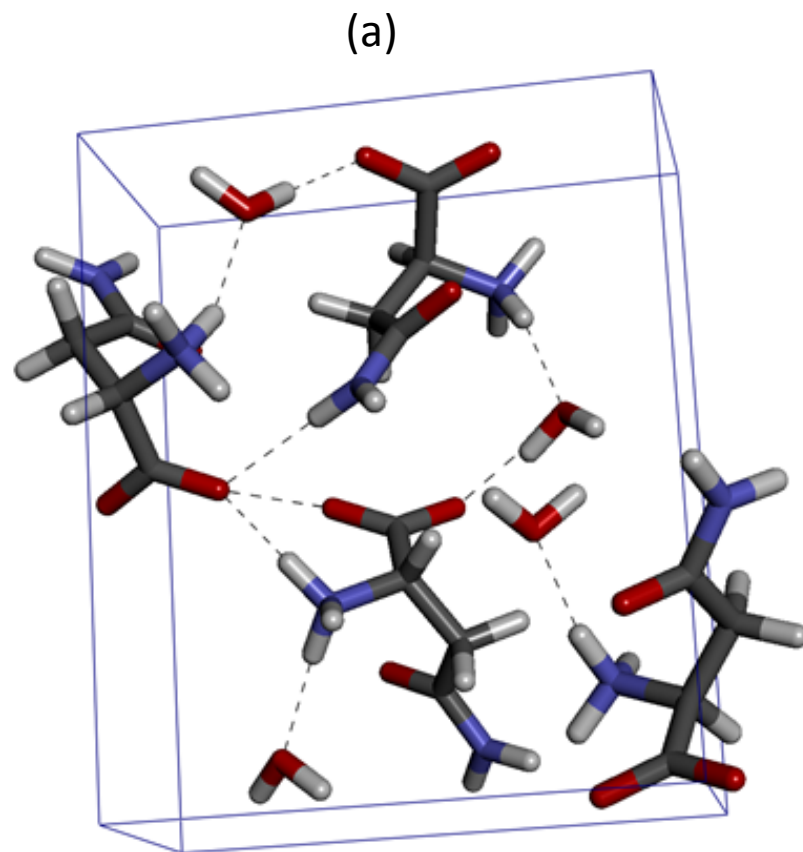


図5-12 完全結晶(a)とモザイク結晶 (b)の概念図

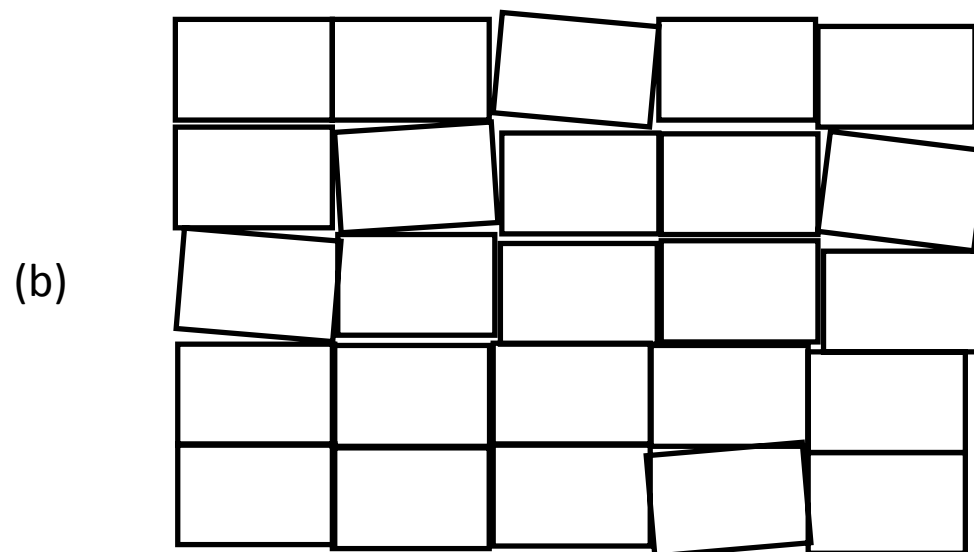
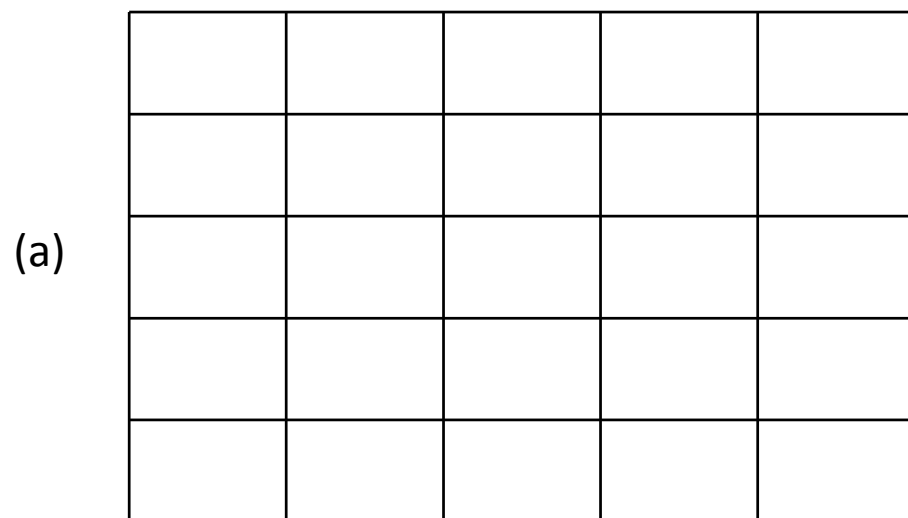


図5-13 色々な格子欠陥

