

弾性場におけるパターン形成

(Modulsted Patterns and Pinning Effect in Phase-Separating Alloys)

京都大学基礎物理学研究所 小貫 明・西森 拓

固体における相転移・相分離現象では、オーダーパラメーターと弾性場が結合し様々のパターン現象が出現する。特に shear deformation に伴うオーダーパラメーターのゆらぎの長距離相互作用は大変興味深いものである。ここでは、従来の固体物理ではあまり真剣に扱われていなかったそれだけに新味ある諸効果があると考えられる。ちなみに弾性場の影響の強い相転移現象は実に広いカテゴリーの物質で存在する。その例として、ゲル、2相合金、マルテンサイト転移、構造相転移、水素を含ませた金属 (1++metals) での転移などが考えられる。

ここで、2元合金中の相分離について我々の得た結果の一部を紹介する[1~4]。今年1月の「slow dynamics」研究会の報告として我々の原稿が過日「物性研究」に載っているが、本稿はそれと重複しないように書く。

オーダーパラメーターは組成 c で2相境界ではいわゆる「coherent 条件」を課す(図1)。体系は cubic な固体とし、この対称性は相転移によっても破られないとする。自由エネルギー F は c と弾性場 \mathbf{u} に依存しているが \mathbf{u} は c を固定した時の局所平衡 $\delta F/\delta \mathbf{u} = 0$ (もしくは力学つり合い) より決める。すると \mathbf{u} は一般に c の汎函数として書ける。このようにして c の間の弾性場を介しての長距離相互作用を含む自由エネルギーを得る。

$$F = F_0 + F_{cub} + F_{ext} + F_E \quad (1)$$

ここで F_0 は通常の Ginzburg-Landau 自由エネルギー、 F_{cub} は cubic elasticity より発生する異方的自由エネルギー。 F_{ext} は結晶の境界に課せさせた非等方的な外部ストレスより発生する。 F_E は2相の硬さの違いより発生する。

相分離は次の方程式を2次元で解いて図示する。

$$\frac{\partial}{\partial t} c = \nabla^2 \frac{\delta}{\delta c} F \quad (2)$$

図2は $F = F_0 + F_{cub}$ よりの結果、図での数字は急冷後の時間。図3は $F = F_0 + F_E$ よりの結果。図4は $F = F_0 + F_{cub} + F_E$ よりの結果で現実の cubic 結晶のパターンと酷似している。いずれも2相の体積分率は50%である。 F_{cub} は四角いドメインの形成を導き、 F_E は2相の非対称的な変形を導きドメイン成長の凍結現象を説明する。

F_E は2相の硬さの違いによる最も驚くべき様々な効果を引き起こす。図5では柔らかい相のドメインが成長するに従いプレート状につぶれることを示す。図6では一軸的に変形した硬い領域と等方的な柔らかい領域の間の interface の不安定性を示している[5]。図7と8では柔らかい相が20%の時の柔らかい相の変形と percolateする過程を示す。 g_E は無次元した硬さの違いである。

シュミレーションを通じて我々は弾性場が相分離に対し思いがけない効果を及ぼすことを見出した。我々は考え易い合金モデルのみを解析したが、その他の様々の場合においては一体何が出てくるか楽しみである。

文献

- 1) A. Onuki, J. Phys. Soc. Jpn, **58** (1989) 3065; **58** (1989) 3069; **60** (1991) 345.
- 2) H. Nishimori and A. Onuki, Phys. Rev. **B42** (1990) 980.
- 3) A. Onuki and H. Nishimori, Phys. Rev. B (1991) in press; H. Nishimori and A. Onuki, J. Phys Soc. Jpn, **60** (1991) 1208.
- 4) A. Onuki and H. Nishimori, J. Phys Soc. Jpn, **60** (1991) 1.
- 5) H. Nishimori and A. Onuki, preprint.

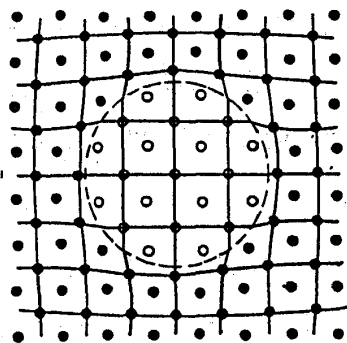


図1

coherent 条件下での cubic 結晶のドメイン。
白い原子の多いドメイン内は膨張している。

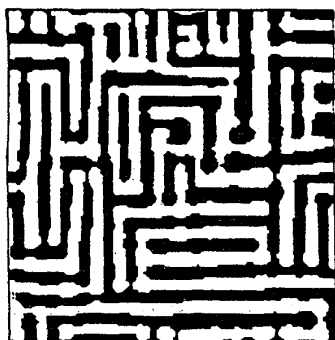


図2 600

$F_0 + F_{cub}$ at 50% [2].
長四角のドメインができる。

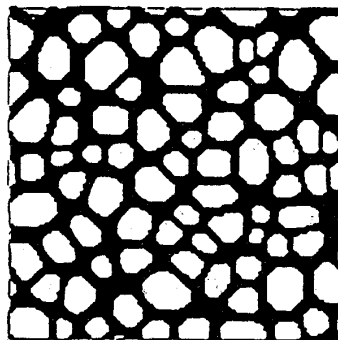
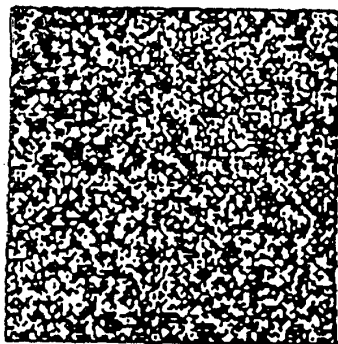
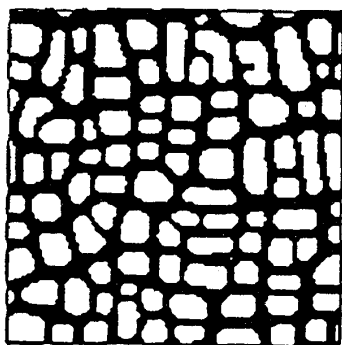


図3 9000

$F_0 + F_E$ at 50%. 柔らかい相 (黒地) が percolate している。



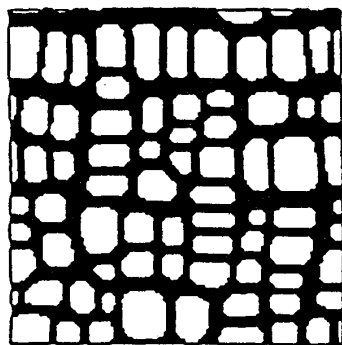
0



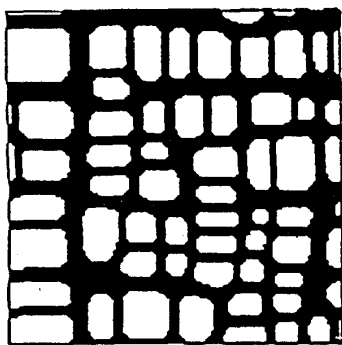
1000

図4

$F_0 + F_{cub} + F_E$ での急冷後の
ドメイン成長。50%



4000



25000

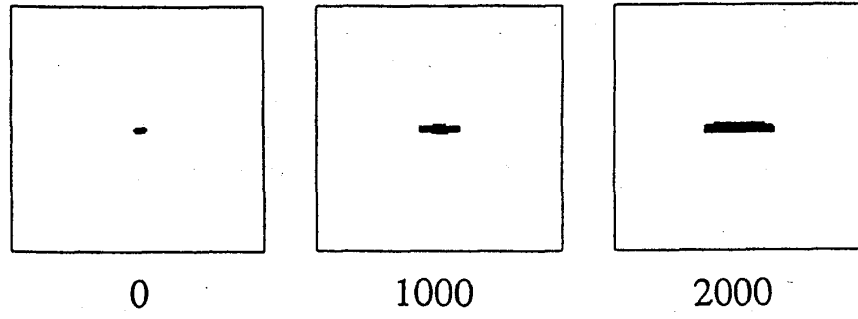


図5 柔らかいドメインの板状成長 [6]

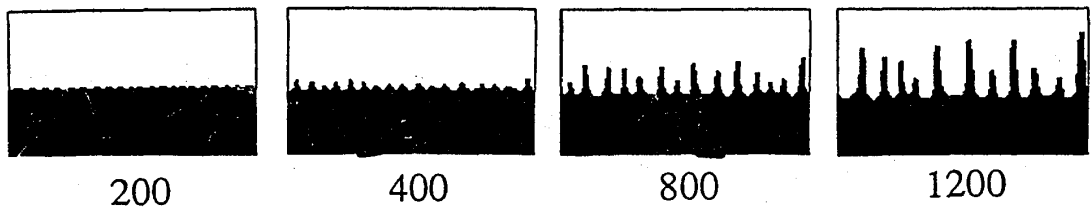


図6 $F_0 + F_E$ での interface instability [6].

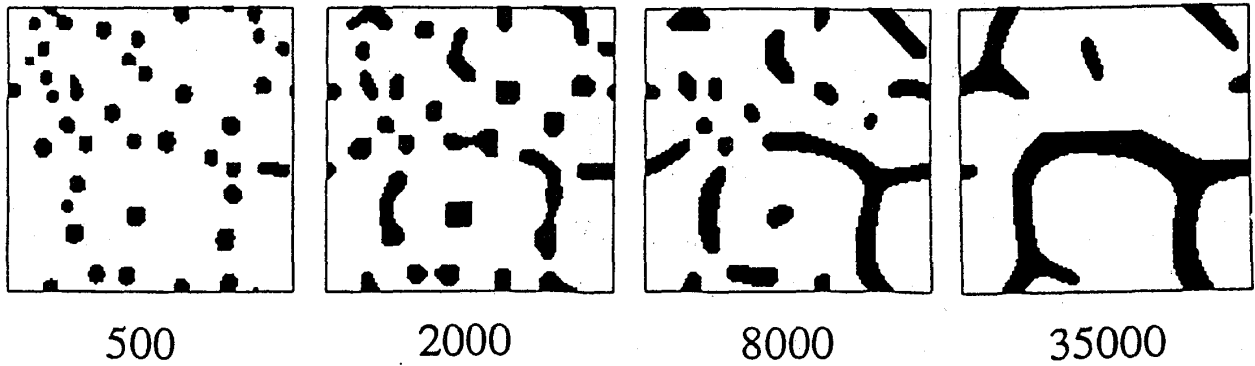


図7 柔らかい相が20%の時のドメインのつぶれとそのパーコレーション。 $g_E = 0.02$.

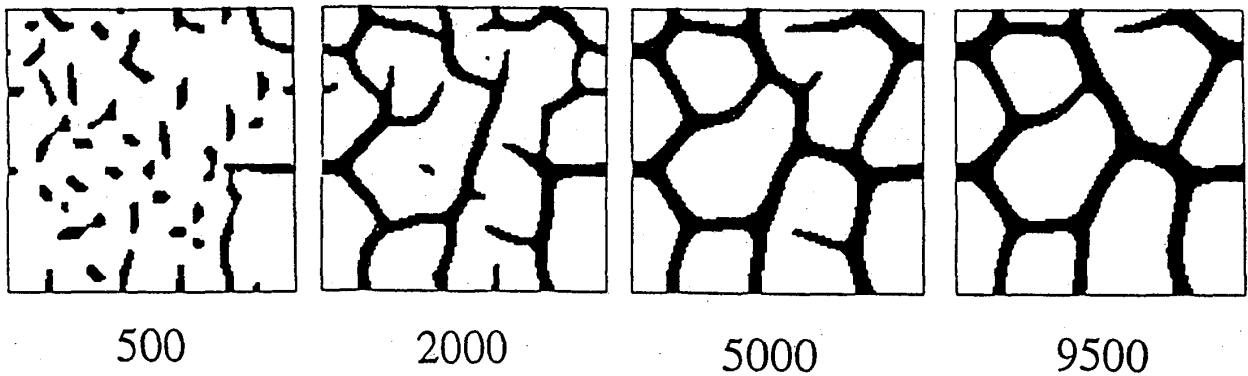


図8 $g_E = 0.07$.