Title	リサイクル・デザインの非効率均衡
Sub Title	Inefficient equilibria in a recycle design game
Author	西村, 一彦(Nishimura, Kazuhiko)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2008
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.100, No.4 (2008. 1) ,p.931(47)- 939(55)
JaLC DOI	10.14991/001.20080101-0047
Abstract	リサイクルのための製品デザインは, デザイン市場の非存在により, そもそも適正な調整がなされにくいが, リサイクラーが廃棄物を品質相応の価格で引き取り, 生産者が財価格から引き取り価格を差し引いた正味価格を競争対象としてデザインを調整するモデルにおいては, 効率性の一階条件は満たされる。これを踏まえ, 本稿では, 調整が離散的でデザインに関するリサイクラーの分散忌避性が大きい場合に, 非効率なナッシュ均衡に陥る可能性を示す。 Product design for recycling, due to the non-existence of the design market, is by nature difficult to be properly adjusted; a model adjusting design as recyclers pick up waste products at prices matching their quality, where producers discount the pickup prices from asset prices, thus making the net price subject to competition, meets first-order conditions of efficiency. From this premise, this study indicates the possibility of falling into an inefficient Nash equilibrium in cases of a larger recycler repellent dispersion related to design discrete adjustments.
Notes	小特集 : 環境経済学の新展開(下)
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20080101-0047

リサイクル・デザインの非効率均衡

Inefficient Equilibria in a Recycle Design Game

西村 一彦(Kazuhiko Nishimura)

リサイクルのための製品デザインは，デザイン市場の非存在により，そもそも適正な調整がなされにくいが，リサイクラーが廃棄物を品質相応の価格で引き取り，生産者が財価格から引き取り価格を差し引いた正味価格を競争対象としてデザインを調整するモデルにおいては，効率性の一階条件は満たされる。これを踏まえ，本稿では，調整が離散的でデザインに関するリサイクラーの分散忌避性が大きい場合に，非効率なナッシュ均衡に陥る可能性を示す。

Abstract

Product design for recycling, due to the non-existence of the design market, is by nature difficult to be properly adjusted; a model adjusting design as recyclers pick up waste products at prices matching their quality, where producers discount the pickup prices from asset prices, thus making the net price subject to competition, meets first-order conditions of efficiency. From this premise, this study indicates the possibility of falling into an inefficient Nash equilibrium in cases of a larger recycler repellent dispersion related to design discrete adjustments.

「三田学会雑誌」100 巻 4 号（2008 年 1 月）

リサイクル・デザインの非効率均衡*

西　村　一　彦

要　　旨

リサイクルのための製品デザインは，デザイン市場の非存在により，そもそも適正な調整がなされにくいが，リサイクラーが廃棄物を品質相応の価格で引き取り，生産者が財価格から引き取り価格を差し引いた正味価格を競争対象としてデザインを調整するモデルにおいては，効率性の一階条件は満たされる。これを踏まえ，本稿では，調整が離散的でデザインに関するリサイクラーの分散忌避性が大きい場合に，非効率なナッシュ均衡に陥る可能性を示す。

キーワード

リサイクル・デザイン，品質調整，試行錯誤，非凸性，効率性

1　はじめに

リサイクル・デザイン（リサイクルのための製品デザイン）は，消費者には直接的に影響しないが，リサイクラーの生産性には影響を与え，その調節は生産者においてなされるという特徴がある。一般にはデザインなどの品質に関する取引市場は存在しないため，このようなデザインは，市場メカニズムによる調整がなされにくいといわれている（Nishimura 2001）。しかしながら，もしリサイクラーが廃棄物をその品質相応の価格で消費者から引き取るなら，戦略的な生産者においては，消費後の財（廃棄物）の取引価格を観測しながら，財価格から廃棄物価格を差し引いた正味価格をライバルよりも安価となるように廃棄物の品質を決定付けるデザインに調整する，という行動を考えることができる。

このような試行錯誤的なデザインの調整は，要素技術の研究開発や中間財の品質の調整過程と類似のものであるといえよう。つまり，ある観測値（本稿の場合には財の正味価格であり，要素技術の研究開発の場合には製品の価値が相当する）の評価値をなるべく大きくするように操作変数（デザイン，品質）を，試行錯誤を繰り返しながら調整する過程である。このように，主体間に 何らかの外部性

が存在する場合に，それを税・補助金などの外的手段[(1)]で内部化するのではなく，外部性を操作可能な主体が，結果を観測しながら試行錯誤的に内部化しようとする場面は，上記の例のごとくリサイクリング以外にも社会に多く存在するといえる。

財の種類が嗜好の多様性を反映して非常に多数存在する場合には，デザインや品質の属性価格を観測することができるため，属性の間接市場を通じてデザインないしは品質はおよそ調整される。しかしながら，リサイクリングにおいては，リサイクラーにとって都合のよい製品デザインは多様でないばかりか，デザインの多様性自体がリサイクラーの生産性を低下させることも考えられる。このように，最終財がリサイクラーにとっては生産要素となるリサイクリングの場合，望ましいデザインは限定されると考えるべきである。また，個々の属性は市場を形成するほどの影響力をもたないが，その集合体としてのデザインが効率性に大きな影響力をもつなら，デザインは無視できない外部性となる。リサイクリングのこのような特徴を考えたとき，本稿におけるような，試行錯誤によるデザイン調整の分析が必要となる。実際，本研究のモデルによれば，リサイクラーの分散忌避性が大きいとき，他人の非効率なデザインに合わせることが有利となり，全体として非効率なデザインに陥る可能性が示される。

本稿では，無用な複雑化を避ける目的で，リサイクラーが独占である場合を扱うことにする。これは，現実的にも多く見られる状況（Eichner 2001）であるうえに，デザインの多様性がリサイクラーの生産性に及ぼす影響をモデル化しやすいからである。そこで，動学的特性の分析のために Nishimura (2008) で導入されたバンガード（Vanguard）と追随者（Followers）的な生産主体が財の正味価格の低減を競争対象としてデザインを調整するモデル[(2)]を用い，これにデザインが連続的に調整できない場合を考えることで，リサイクラーのデザインに関する分散忌避性が大きい場合に無数の（非効率な）ナッシュ均衡が現れることを示す。本稿は，続く 2 章でモデルを導入し，3 章ではバンガードと追随者の反応関数を具体的な関数形のもとに導出する。4 章で結論を述べる。

2　モデル

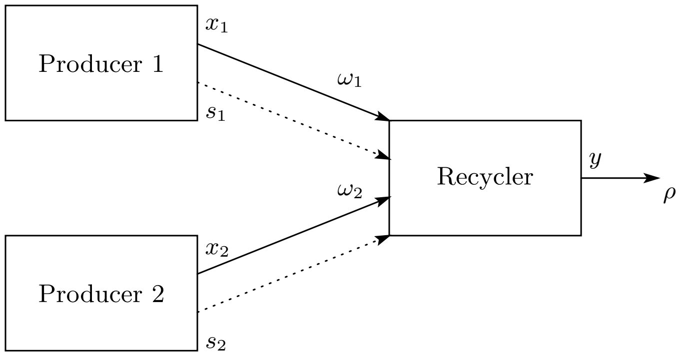
2.1　生産者とリサイクラー

図 1 に，本稿のモデルにおける生産者とリサイクラーの関係を示す。生産者 i は，リサイクル・デザイン（以下，デザインと略記）s_i の異なる財 i を生産する。そのときの生産量を x_i とする。生産者 i による財 i は単価 ω_i でリサイクラーに引き取られる。各生産者は完全競争環境にあるものと

（1）　外部性の内部化手段としては，税・補助金のほかに合併・統合が考えられるが，その場合にはインセンティブとの両立性を考える必要がある（西村 2008）が本稿では扱わない。

（2）　Nishimura（2008）では，試行錯誤による正味価格の低減競争がパレート効率性をもたらすためにはリサイクラーにおけるデザインの評価関数の単峰性が必要であることが指摘されている。

図 1　生産者とリサイクラー



し，どのような s_i に対しても共通の収穫一定の生産関数をもつ。したがって，s_i は投入に関してゼロ次同次とする。このとき，単位費用は $c(s_i)$ と表される。つまり，s_i は生産量 x_i とは独立に決定される。さらに，無用な複雑化を避けるため，デザイン s_i に関係なく単位生産費用は一定であるとする。したがって，財 i の価格はすべて c となる。

$$c(s_i) = c \tag{1}$$

消費者はデザイン s_i には無関心だが，リサイクラーの示す再販価格 ω_i を観測できるので，$c - \omega_i$ がより小さい財 i を選択する。したがって，生産者 i は ω_i を観測しながら，それが大きくなるような s_i を選択する。これを次のように表す。

$$\arg\min_{s_i} c(s_i) - \omega_i((s_i)) = \arg\max_{s_i} \omega_i((s_i)) \tag{2}$$

ここに，二重カッコは観測値を表し，意思決定者が真の関数を予め知っているわけではないということを強調した。また，簡単化のため，デザインは一次元で，$s_i \in [0,1]$ であるものとする。

リサイクラーは独占であるとする。リサイクラーの生産量 y は，生産要素である廃棄物量 x_i（財の生産量に等しい）と，廃棄物の品質 s_i（財のデザインに等しい）に依存する。この生産関数を次のように表す。

$$y = Y(x_1, x_2, \cdots ; s_1, s_2 \cdots) \tag{3}$$

リサイクラーは独占でありながら，限界費用（収入）規制下に置かれていると仮定する。独占であることから，すべてのデザイン s_i の財を，このリサイクラーが受け入れる。また，限界収入規制下にあることから，ω_i は限界収入すなわち，リサイクラーの生産財価格 ρ を用いて，次のように表すことができる。

$$\omega_i = \rho \frac{\partial Y(x_1, x_2, \cdots ; s_1, s_2 \cdots)}{\partial x_i} \tag{4}$$

ここでは，さらに具体的に生産関数を規定する。リサイクラーから見たデザイン s_i の評価値 $S(s_i)$ を，次のように定義する。すなわち，$s_i = 1/2$ のとき最大の効果 $S_i(1/2) = 1$ があるとする。

$$S(s_i) = 4\,s_i\,\{1 - s_i\} \tag{5}$$

生産者が二人の場合，生産関数は次のように表されるものとする。

$$\begin{aligned} y &= Y(x_1, x_2;\ s_1, s_2) & (6)\\ &= \{1-\eta\}\,M(x_1, x_2;\ s_1, s_2) + \eta V(x_1, x_2;\ s_1, s_2), \quad \eta \in [0, 1] & (7)\end{aligned}$$

ただし，M はデザインの数量加重平均，V はデザインの分散を表す。

$$\begin{aligned} M(x_1, x_2;\ s_1, s_2) &= \frac{x_1 S(s_1) + x_2 S(s_2)}{x_1 + x_2} & (8)\\ V(x_1, x_2;\ s_1, s_2) &= \frac{x_1}{x_1 + x_2}\,\{M - s_1\}^2 + \frac{x_2}{x_1 + x_2}\,\{M - s_2\}^2 & (9)\end{aligned}$$

すなわち，リサイクラーの生産性は，デザイン効果の数量加重平均が大きいほど良くなり，分散が大きいほど悪くなる。また，η を分散忌避度と呼ぶことにする。

3　デザイン調整の反応関数

ここでは，生産者が，式（2）にしたがってデザインを調整する過程について述べる。その際，デザインを戦略的に調整する人数が一人の場合と複数の場合を考察する。

モデル 1（バンガードと追随者）

1. バンガード $(i = 1)$ だけが，$\omega_1((s_1))$ が極小となるように s_1 を調節し，$s_1 = s_1'$ とする。
2. 追随者 $(i \neq 1)$ は，$\omega_i < \omega_1$ となれば，追随して $s_i = s_1'$ とする。
3. 追随者の s_i' によって，バンガードの $\omega_1((s_1))$ が影響を受ける。

この場合，バンガードの反応関数は次のように求められる。ただし，追随者はまとめて $i = 2$ とおいた。

$$R_1(x_1, x_2, s_2) = \arg\max_{s_1} \omega_1((s_1)) = \arg\max_{s_1} \frac{\partial Y(x_1, s_1;\ x_2, s_2)}{\partial x_1} \tag{10}$$

ここでは具体的に反応関数を導出するために，s_i と x_i の独立性に基づいて，次のように設定する。つまり，バンガードその他すべて n 個の同一の生産者であるものとする。

$$x_1 = 1/n, \quad x_2 = 1 - 1/n \tag{11}$$

このとき，反応関数は $R_1(s_2)$ と書くことができる。ただし，この関数は定義上 n および η に影響を受ける。どのように影響を受けるかを見るために，$\eta=0$ と $\eta=1$ の場合を分けて考える。

まず，$\eta=0$ の場合，$\omega_1((s_1))$ は次のように計算されるので，$S(\cdot)$ が単峰なら，バンガードは s_2 の如何に関わらず，s_1 を調節して $S(s_1)$ の最大値を探り当てることができる。

$$\omega_1((s_1)) = \omega_1(s_1;\, s_2) = \left\{1-\frac{1}{n}\right\}\{S(s_1)-S(s_2)\} \tag{12}$$

一方，$\eta=1$ の場合には次のようになる。

$$\omega_1((s_1)) = \omega_1(s_1;\, s_2) = -\left\{1-\frac{1}{n}\right\}\left\{1-\frac{2}{n}\right\}\{s_1-s_2\}^2 \tag{13}$$

式（13）より，$n \geq 2$ のとき $\omega_1((s_1))$ が最大となるのは $s_1=s_2$ のときである。これより，以下の命題を得る。

命題 1　生産者が n 個の同一主体からなり，限界収入規制下にある独占的リサイクラーの生産性が（a）デザイン効果の数量加重平均のみに依存する場合，バンガードはデザインを調整することが可能である。しかし，（b）リサイクラーの生産性が，デザインの分散のみによって影響を受けかつ阻害される場合，デザインはライバルと同じものになる。

実際には $0<\eta<1$ であるので，分散忌避性の影響を少しは受けることになるので，バンガードの反応関数は式（12）のように s_2 の影響をまったく受けないということにはならない。

反応関数 $R_1(s_2)$ はたとえば図 2 の太線のような形をしている。これは η や n によってどのような影響を受けるだろうか。両者の反応関数を上述の条件下で求める。

$$R_1(s_2;n,\eta) \;=\; \frac{(2-n)\eta s_2 - 2n(1-\eta)}{2\eta + n(3\eta-4)} \tag{14}$$

$$R_2(s_1;n,\eta) \;=\; s_1 \tag{15}$$

式（15）よりバンガードの反応関数は s_2 に関して線形である。図 2 に具体例を示す。また，これより次項を得る。

$$\frac{\partial R_1(s_2;n,\eta)}{\partial s_2} \;=\; \frac{(2-n)\,\eta}{2\,\eta + n\,(3\,\eta-4)} \tag{16}$$

$$\frac{\partial^2 R_1(s_2;n,\eta)}{\partial s_2 \partial \eta} \;=\; \frac{4\,(n-2)\,n}{\{2\,\eta + n\,(3\,\eta-4)\}^2} \geq 0, \qquad n \geq 2 \tag{17}$$

バンガードの反応関数の傾きは η が大きくなるに従って増加することがわかる。

また，式（17）より次項を得る。

$$\frac{\partial R_1(s_2;n,0)}{\partial s_2} = 0 \leq \frac{\partial R_1(s_2;n,\eta)}{\partial s_2} \leq 1 = \frac{\partial R_1(s_2;n,1)}{\partial s_2} \tag{18}$$

図 2　反応関数 $R_1(s_2; n, \eta)$ **（ただし，**$n = 50$, $\eta = 0.9$**）**

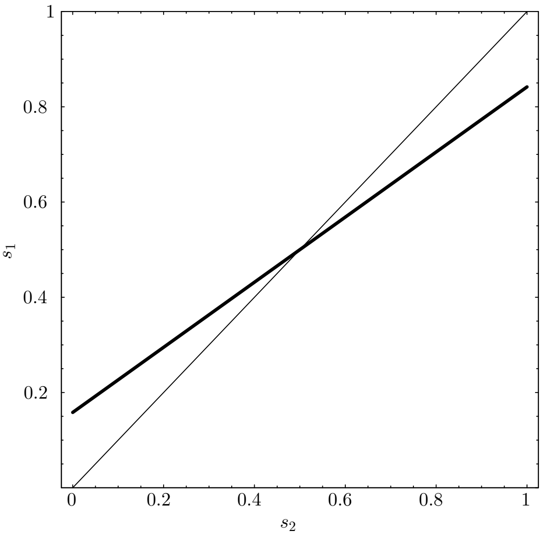
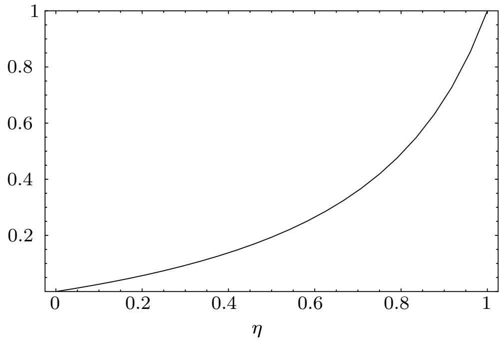


図 3　反応関数の傾き $\frac{\partial R_1(s_2; n, \eta)}{\partial s_2}$ **（ただし，**$n = 50$, $s_2 = s_2^*$**）**



この様子を図 3 に示す。以上より，次の命題を得る。

命題 2　分散忌避性が支配的になる $(\eta \to 1)$ に従い，バンガードの反応関数は追随者のそれに近づくが，ナッシュ均衡（$R_1(s_2; n, \eta) = s_1$ かつ $R_2(s_1; n, \eta) = s_2$ の解 (s_1^*, s_2^*)）は効率的である。ただし，$\eta = 1$ の場合には反応関数が一致するので無数の非効率なナッシュ均衡が存在する。

デザイン s_1, s_2 が離散的にしか選択できない場合には，上記の命題は次のように修正される。

命題 3　ある一定以上の η では $R_1(s_2; n, \eta)$ と s_2 との差は小さくなる。s_2 が一定程度の幅でしか選択できない（離散的である）場合，バンガードが無反応 $(s_2 \neq s_2^*$ でも $R_1(s_2; n, \eta) = s_2)$ となる。その際，ナッシュ均衡は非効率となる。

また，式（18）は，ナッシュ均衡の安定性についての示唆を与える。

命題 4　分散忌避性の如何にかかわらず，ナッシュ均衡は漸近安定である。

モデル 2（二人バンガード）

1. 生産者は二人 $(i=1,2)$ だけ。
2. 両生産者は，相手の行動 (s_1,s_2) を所与として，自身が直面する再販価格 (ω_1,ω_2) の極大化を行う。

この場合，バンガードと追随者モデルにおける追随者が一体であると考えれば，両者の生産量を式（11）で表すことができる。生産者 $i=1$ の反応関数は，式（10）と同じく $R_1(s_2)$ と書けるが，$i=2$ の反応関数も同様となる。

$$R_2(x_1,x_2,s_2)=\arg\max_{s_2}\omega_2((s_2))=\arg\max_{s_2}\frac{\partial Y(x_1,s_1;\ x_2,s_2)}{\partial x_2} \qquad (19)$$

図 4 には，ある状況についての $R_1(s_2)$ を太線で，$R_2(s_1)$ を細線で描いてある。

均衡の安定性を調べるため，次の値を計算する。

$$\frac{\mathrm{d}R_2(R_1(s_2))}{\mathrm{d}s_2}=R_2'R_1' \qquad (20)$$

尚，$-1<R_2'R_1'<1$ であれば漸近安定である。安定性が η によってどのように影響を受けるかを分

図 4　反応関数 $R_1(s_2)$ **および** $R_2(s_1)$ **（ただし，**$n=50,\ \eta=0.6$**）**

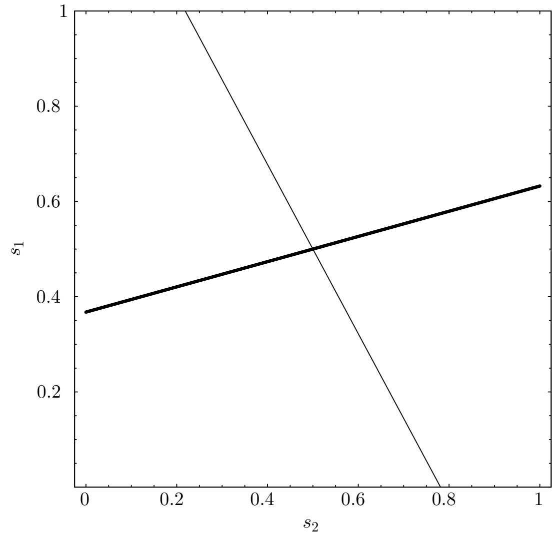
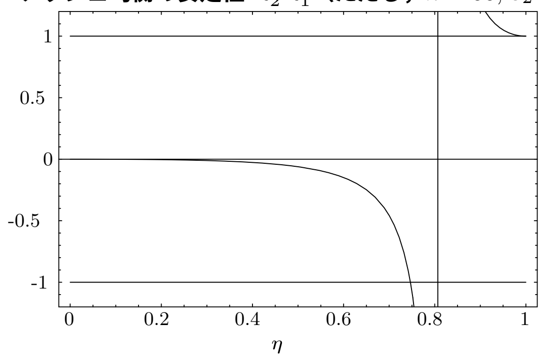


図 5　ナッシュ均衡の安定性 $R_2'R_1'$（ただし，$n=50,\ s_2=s_2^*$）



析するため，上述の条件で次項を得た。

$$\frac{\partial R_2'R_1'}{\partial \eta}=\frac{32\,(-2+n)^2\,n^2\ (-1+\eta)\ \eta}{(2\,\eta+n\ (-4+3\,\eta))^2\,(-2\,\eta+n\ (-4+5\,\eta))^2}\leq 0 \tag{21}$$

つまり，η は $R_2'R_1'$ に対して単調に減少していることがわかる。図 5 は，η によってこの安定性がどのように変化するかを表している。この図より，ある一定以上の η において，均衡が漸近安定とならない場合があることがわかる。これより，以下の命題を得る。

命題 5　バンガード同士がデザインを調整しようとする場合，ナッシュ均衡は効率的だが，ある一定以上の分散忌避性では均衡が漸近安定とならない場合がある。

4　おわりに

本研究では，リサイクル・デザインの自律的内部化を行うような二つのモデルを提示し，効率性と安定性について考察した。バンガードと追随者のモデルでは，デザインの選択が離散的かつ，リサイクラーの分散忌避性が大きい場合に Battle of the Sexes と同様の状態が起こり，非効率なナッシュ均衡に陥る可能性を示した。また，二人バンガードのモデルでは，分散忌避性が大きい場合には均衡が漸近安定とならない可能性を示した。

（日本福祉大学経済学部教授）

参　考　文　献

Eichner T. (2005) "Imperfect Competition in the Recycling Industry," *Metroeconomica*, 56, pp. 1–12.
Nishimura K. (2001) "On Inefficiency and Instability in Decentralized Recycling Systems," *Environmental Economics and Policy Studies*, 4, pp. 191–210.

Nishimura, K. (2008) “The Role and Internalization of Homogeneous and Nonhomogeneous Design Effects in Recycling Systems,” *Metroeconomica*, Forthcoming.
西村一彦（2008）「リサイクル・システムにおける垂直統合」山川・植田編『循環型社会と拡大生産者責任の経済学』昭和堂（刊行予定）