

# リアル・オプションを用いた 風力発電事業での意思決定

---

東京理科大学工学部 4年

豊田 篤史

# 発表構成

---

1. 研究背景
2. 研究目的
3. リアル・オプション
4. 研究内容
5. モデル化
6. 結果と考察
7. 今後の課題
8. 参考文献

*Appendix*

# 研究背景①

## 1. 研究背景

- 電力需要は,年々増加傾向にあり,今後も増えていく
- 日本は電力消費大国である.

⇒世界第3位の消費電力量 (1位アメリカ,2位中国)

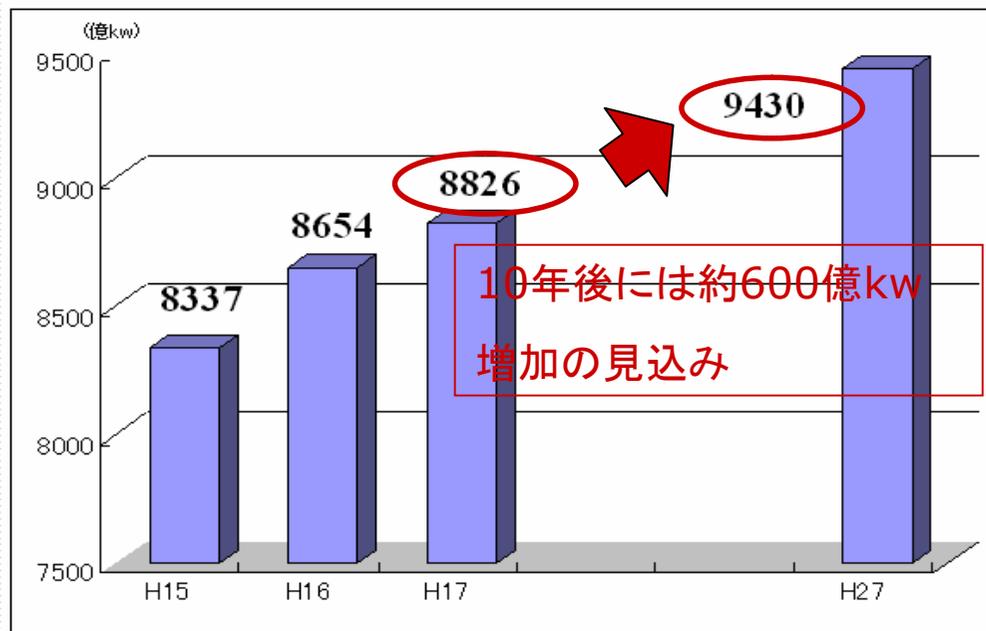


図1:日本の電力需要の推移(出典 総務省統計局より抜粋)

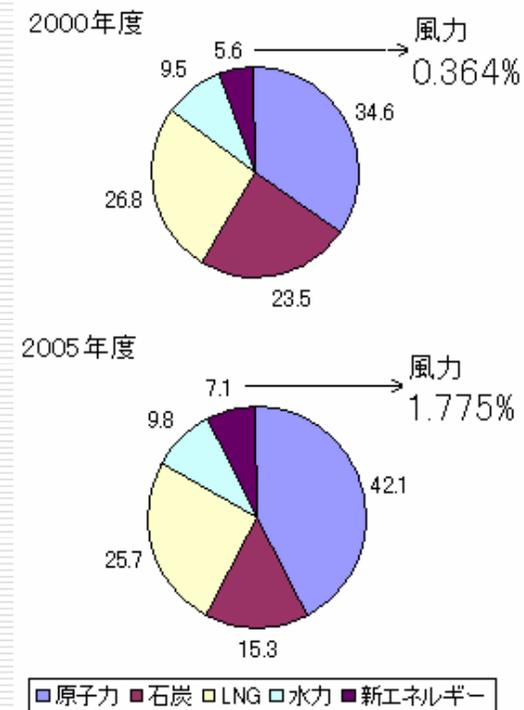


図2:発電の電源構成比(出典 電力中央研究所より抜粋)

# 研究背景②

## 1. 研究背景

- 近年風力事業が急速に加速
  - 環境負荷が少ない(  $CO_2$  を発生しない発電方法 温暖化対策も考慮)
  - 自治体 → 売電収入, 観光効果
  - 企業による売電事業 → 銀行: プロジェクトファイナンスによる融資

風力を用いた発電方法が電力事業に及ぼす影響を無視できない

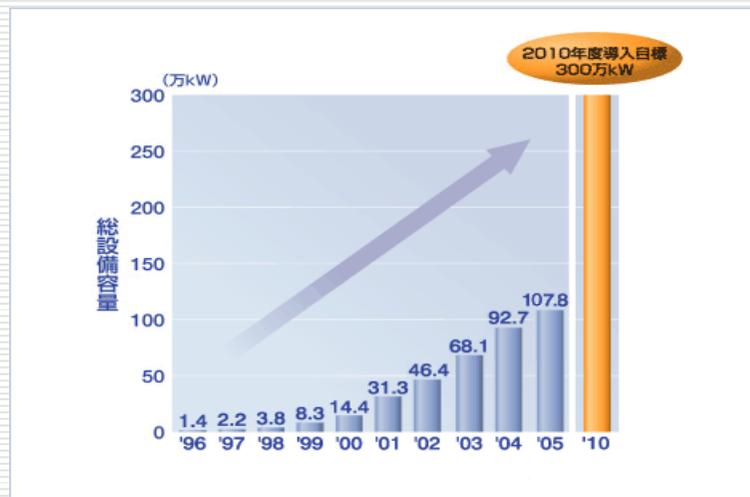


図3: 日本の風力発電導入推移(日本風力発電より抜粋)

表1: 1kwh当たりの  $CO_2$  排出量

石油火力	742
石炭火力	975
LNG火力	608
太陽光	53
風力	30

(g / kwh)

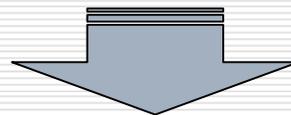
# 研究目的

## 2. 研究目的

現状から考えると

- 今後電力需要は伸び続け、発電量が増えるのは必至
- 環境負荷を考慮できる風力発電への注目

需要動向や風況、売電価格といった不確実要因の存在下で意思決定を行わなければならない



リアル・オプションの考え方の導入

風力発電事業における

事業価値の最大化

+

意思決定のタイミング

をはかる

# リアル・オプションとは？

## 《オプションの定義》

指定された条件の下(期間,コスト)で, 何らかのアクションを起こす  
(資産を買うもしくは売る)権利のこと  
権利を行使すれば取引は実行されるが, 義務ではない

- 対象とする資産が事業や研究開発, 企業価値 ⇒ **リアル・オプション**

## 《適用対象》

### ①事業の不確実性が高い

- ・原資産の価格が大幅に変動する可能性がある(ex原油価格の変動)
- ・新規事業である

### ②原資産が市場で取引されている

- ・市場が活発でないと, 原資産価格やボラティリティーの値が推定できない

原油価格 ⇒ WTI(West Texas Intermediate)市場など  
排出権価格 ⇒ 市場での取引が不完全

## リアル・オプション評価法 ～二項モデル～

《オプション価値算出までの流れ》

① キャッシュフローを二項ツリーで作成

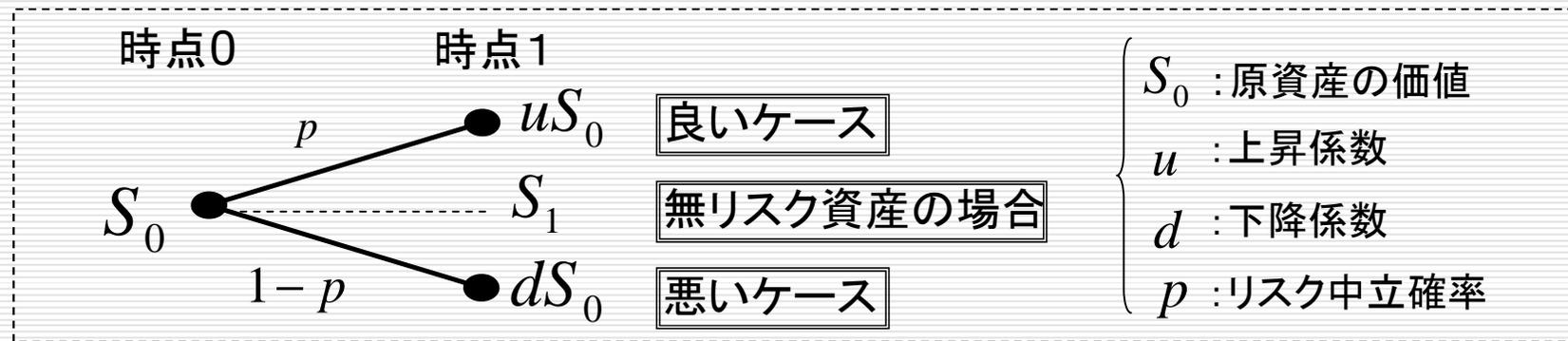


図4: 1期間の2項モデル

② リスク中立確率を算出

※リスク中立確率

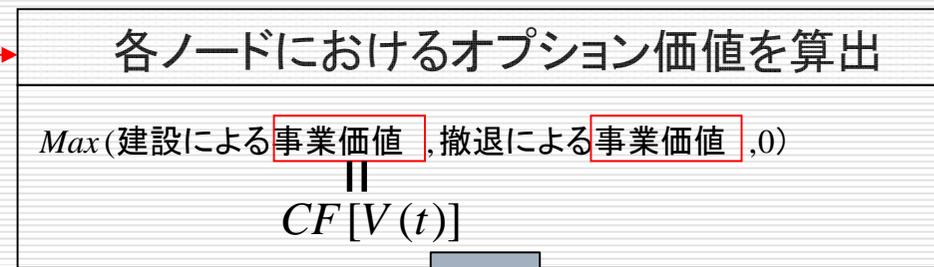
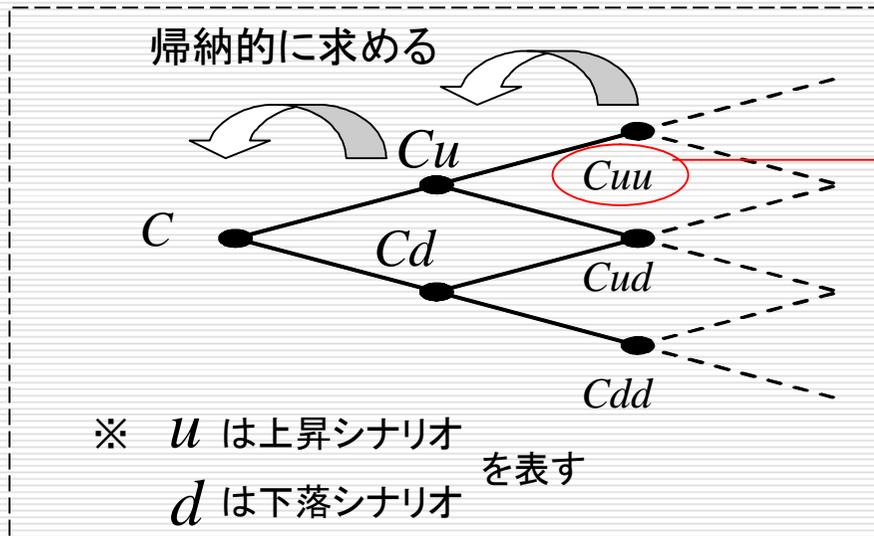
1時点後の原資産価格の期待収益率が、安全利子率に等しくなるように定めた確率

③ オプション価値を算出

# オプション価値の算出

## オプションの計算に必要なパラメータ

- 原資産価格の現在価値
- 不確定要因のボラティリティ
- キャッシュフロー計算に必要な値
- リスクフリーレート,意思決定までの期間



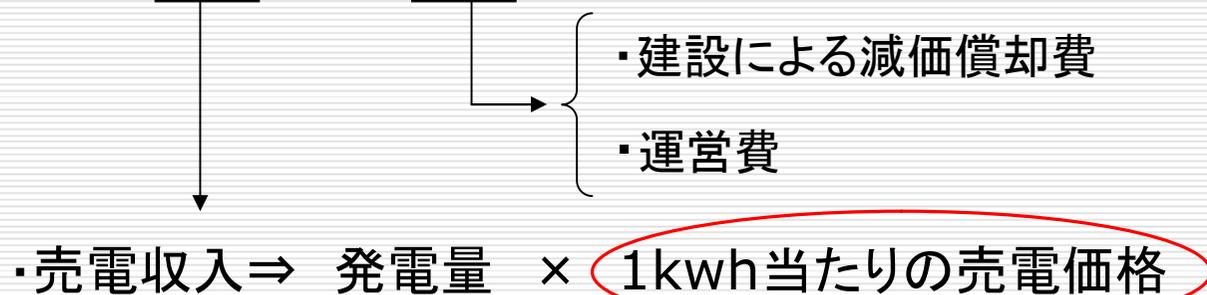
最適な意思決定を行う

図5: オプション価値の二項ツリー

# 研究内容

売電価格 を不確定要因とし

得られる収益,かかる費用から期待キャッシュフローをモデル化



S-PLUSを用いたシミュレーションの実行

風力発電建設のプロジェクトをリアル・オプションを用いて分析

# モデル化 ～事業価値の算出～

## 5. モデル化

- 収益,費用の値から各ノードでの事業価値  $V_t$  を算出する

$$V_t = \text{Max}[P_{t(\text{千万}/1\text{kw})} \times W_{(\text{千万}\text{kw})} - C_{(\text{千万})}, 0] \quad \dots(3)$$

$P_t$  は売電価格,  $W$  は発電量,  $C$  は固定費を表す

- 各種パラメータの算出

《意思決定の期間》 1年毎 ( $\Delta t = 1$ )

《シミュレーション期間》 10年

《リスクフリーレート》  $r = 0.01575$  ⇒ 10年国債利回りの値を引用

《発電量の値》 0.444(千万  $\text{kw}$ )

⇒ 東伊豆町発電所の運転状況のデータ(Appendix参照)より,  
1年間に発電する量の平均をとった.

- 発電によって得られる収入  $R$  を,以下の式で求める.

$$R = W \times P \quad \dots (1)$$

(売電収入)      (発電量)      (売電価格)

- 売電価格の変動は, 一般家庭に供給される電気代の価格変動と一致  
 ⇒ 電気代の消費者物価指数 (Appendix参照) を用いてボラティリティ推定



$$\begin{cases} P_t = P_0 \times u^k \times d^{t-k} \\ u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} & d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \end{cases} \quad \dots (2)$$

$u$  は上昇シナリオ,  $d$  は下落シナリオ  
 $k$  は上昇回数,  $\sigma$  は標準偏差を表す

乗法モデル

# モデル化 ～運営費の設定～

- 発電所を運営していく際にかかる費用は、「運営費」と「減価償却費」の合計である  
ただし、今回の事例では3基発電所が存在する

## 《運営費》

東伊豆町の出している財務諸表(Appendix)より算出

- { 「需用費」「発電委託料」「システム管理費」 ⇒ 基数とは無関係な費用  
1.01(千万円)
- { 「風力発電事業費」から上記の値を引いた値 ⇒ 基数に比例する費用  
(3.06-1.01)=2.05(千万円)



基数に対してかかる運営費

$$\text{運営費} = 1.01 + k \times \frac{(3.06 - 1.01)}{3}$$

# モデル化 ～減価償却費の設定～

## 《減価償却費》

工事費や諸費用などを合わせると、**52千万円**(風力発電事業計画より抜粋)  
この金額を減価償却費として計算(ただし、残存価格を0,寿命を20年とする)

毎年計上する減価償却費の合計は

$$52 \div 20 = 2.6 \text{ (千万円)} \quad \text{となる}$$

従って、風力発電事業にかかる費用は、

$$\begin{aligned} \text{「運営費」+「減価償却費」} &= 1.01 + k \times \frac{(3.06 - 1.01)}{3} + 2.6 \\ &= 3.61 + k \times \frac{(3.06 - 1.01)}{3} \quad \text{となる} \end{aligned}$$

# S-PLUSを用いた出力結果①

➤東伊豆町の風力発電の事業価値についてシミュレーションした結果を載せる

※ただし、今回はボラティリティの推定に過去20年のデータを用いた ( $\sigma = 0.096$ )

表2:各ノードでの事業価値(オプション有)

0.78	1.06	1.42	1.87	2.41	3.04	3.76	4.55	5.4	6.33	7.33
	0.42	0.6	0.85	1.19	1.61	2.14	2.76	3.47	4.23	5.06
		0.19	0.29	0.44	0.65	0.95	1.35	1.87	2.5	3.19
			0.06	0.1	0.17	0.27	0.44	0.69	1.08	1.64
				0.01	0.02	0.04	0.06	0.12	0.21	0.37
					0	0	0	0	0	0
						0	0	0	0	0
							0	0	0	0
								0	0	0
									0	0
										0

表3:各ノードでの事業価値(オプション無)

0.15	0.64	1.17	1.74	2.36	3.03	3.76	4.55	5.4	6.33	7.33
	-0.46	-0.03	0.45	0.96	1.51	2.11	2.76	3.47	4.23	5.06
		-1.01	-0.62	-0.2	0.26	0.75	1.29	1.87	2.5	3.19
			-1.5	-1.15	-0.78	-0.37	0.08	0.56	1.08	1.64
				-1.94	-1.63	-1.29	-0.93	-0.53	-0.1	0.37
					-2.33	-2.05	-1.75	-1.43	-1.07	-0.69
						-2.68	-2.43	-2.16	-1.87	-1.56
							-3	-2.77	-2.53	-2.27
								-3.28	-3.08	-2.86
									-3.53	-3.35
										-3.76

# S-PLUSを用いた出力結果②

- ▶ ボラティリティを変えて, シミュレーションした結果を下に載せる.

《  $\sigma = 0.096$  の場合 》

表4: 各ノードでの事業価値(オプション有)

0.4	0.51	0.63	0.77	0.94	1.12	1.32	1.53	1.76	1.98	2.22
	0.21	0.27	0.35	0.46	0.58	0.73	0.91	1.1	1.31	1.53
		0.08	0.11	0.15	0.21	0.29	0.4	0.53	0.7	0.89
			0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.14	0.21	0.32
				0	0	0	0	0	0	0
					0	0	0	0	0	0
						0	0	0	0	0
							0	0	0	0
								0	0	0
									0	0
										0

表5: 各ノードでの事業価値(オプション無)

0.15	0.33	0.52	0.71	0.9	1.11	1.32	1.53	1.76	1.98	2.22
	-0.2	-0.03	0.15	0.33	0.51	0.7	0.9	1.1	1.31	1.53
		-0.52	-0.36	-0.2	-0.03	0.14	0.32	0.51	0.7	0.89
			-0.83	-0.68	-0.53	-0.37	-0.2	-0.04	0.14	0.32
				-1.12	-0.98	-0.83	-0.68	-0.53	-0.37	-0.21
					-1.39	-1.26	-1.12	-0.98	-0.84	-0.69
						-1.64	-1.52	-1.39	-1.26	-1.12
							-1.88	-1.77	-1.65	-1.52
								-2.11	-2	-1.89
									-2.32	-2.22
										-2.52

# S-PLUSを用いた出力結果③

## 6. 結果と考察

《  $\sigma = 0.257$  の場合》

表6: 各ノードでの事業価値(オプション有)

1.9	2.96	4.51	6.71	9.75	13.8	19.07	25.83	34.42	45.37	59.31
	0.98	1.61	2.59	4.06	6.21	9.19	13.17	18.31	24.86	33.19
		0.43	0.75	1.3	2.19	3.6	5.71	8.68	12.6	17.58
			0.14	0.27	0.52	0.96	1.76	3.11	5.26	8.24
				0.03	0.06	0.13	0.27	0.58	1.24	2.65
					0	0	0	0	0	0
						0	0	0	0	0
							0	0	0	0
								0	0	0
									0	0
										0

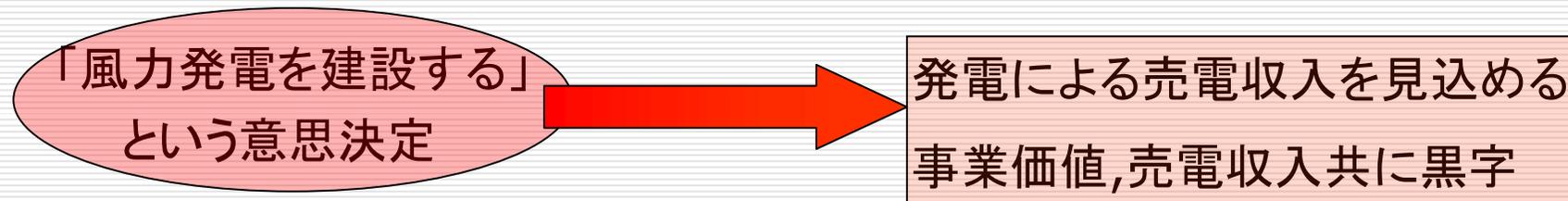
表7: 各ノードでの事業価値(オプション無)

0.15	1.74	3.75	6.33	9.6	13.77	19.07	25.83	34.42	45.37	59.31
	-1.24	-0.03	1.51	3.47	5.96	9.13	13.17	18.31	24.86	33.19
		-2.29	-1.37	-0.2	1.29	3.19	5.6	8.68	12.6	17.58
			-3.1	-2.4	-1.5	-0.37	1.07	2.91	5.26	8.24
				-3.71	-3.17	-2.5	-1.63	-0.53	0.87	2.65
					-4.17	-3.77	-3.25	-2.59	-1.76	-0.69
						-4.53	-4.22	-3.82	-3.33	-2.69
							-4.8	-4.56	-4.26	-3.88
								-5.01	-4.82	-4.59
									-5.16	-5.03
										-5.28

## 考察

## ～東伊豆町の風力発電事業の評価～

- 本事業の現在価値は,0.78[千万円]



- 事業価値が6年連続で上昇した時点を境に,事業価値がマイナス傾向  
つまり,費用が収益を上回った状態が続く

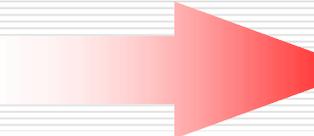
**オプションの導入**

“事業価値がマイナスだったら,オプションの権利を放棄する”  
という撤退オプションを組み込むことで事業価値は高まる

## 考察

## ～ボラティリティの変化による事業価値の違い～

- ボラティリティに変化を加えることにより,オプション価値に変化

ボラティリティが大  オプションの価値が増大

## オプションの導入

プラスのキャッシュ・フローだけを考慮できるという経営の柔軟性

オプションの価値に変化を与える要因は,不確実性の大きさ

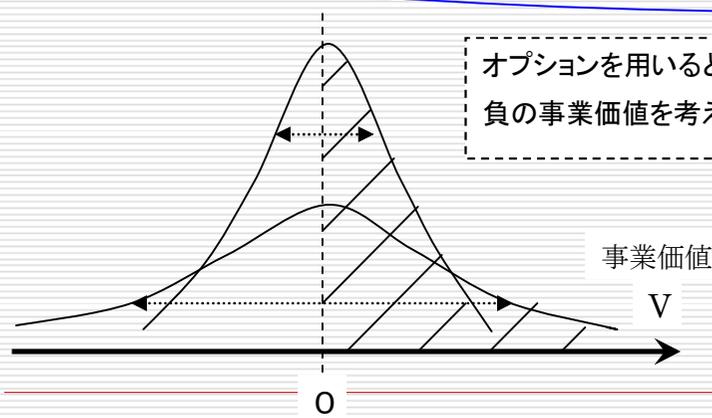


図6: ボラティリティの違いによる価値の変化

## 今後の課題

---

- 費用や発電量などのパラメータの検討
  
- 電力需要の推移が比例的
  - ⇒電力需要の推定に乘法モデルではなく,加法モデルの検討を試みる
  
- 従来の意思決定手法と比較して,リアル・オプションの有用性について検討

## 参考文献

---

- [1]今井 潤一 「リアル・オプション」 中央経済社
  - [2]David G.Luenberger 「金融工学入門」 日本経済新聞社
  - [3]刈屋 武昭, 山本 大輔 「入門 リアル・オプション」 東洋経済新報
  - [4]プロジェクト・ファイナンス  
<http://www.tokyoleasingco.jp/recruit/work/finance/index.html>  
(最終閲覧日 2006/11/13)
  - [5]気象庁データベース  
<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html>  
(最終閲覧日 2006/11/13)
  - [6]日本風力発電株式会社ホームページ  
<http://www.jwd.co.jp/> (最終閲覧日 2006/11/13)
  - [7]NEDOホームページ  
<http://www.nedo.go.jp/enetai/other/fuuryoku/index.html>  
(最終閲覧日 2006/11/13)
-

---

# *Appendix*

- オプションの基本理論と価格式
- リアルオプションの適用と必要なパラメータについて
- 参考資料

# 京都議定書について

## 京都議定書

地球温暖化防止のため温室効果ガスの削減目標について定めた条約  
(日本 2008年～2012年までに1990年基準で-6%の削減目標)

### 概要

- 日本の京都議定書における二酸化炭素排出量目標値は、 $930 \times 10^6$ トン
- この目標値は、およそ $280 \times 10^6$ トンの削減量
- 削減は排出権取引により達成されることになる。

(出典 エネルギー情報局)

発電所が発電によって排出する二酸化炭素の量は32.6%

火力発電 13% 風力発電 0.17%

(NEDO資料より抜粋)

大きな二酸化炭素排出量の差

# プロジェクト・ファイナンス

## プロジェクト・ファイナンス

企業の信用力そのものに依拠するのではなく、ある事業を実施した場合にその事業から生み出される収益に注目して融資する金融手法

### プロジェクトファイナンスー発電プロジェクトの例ー

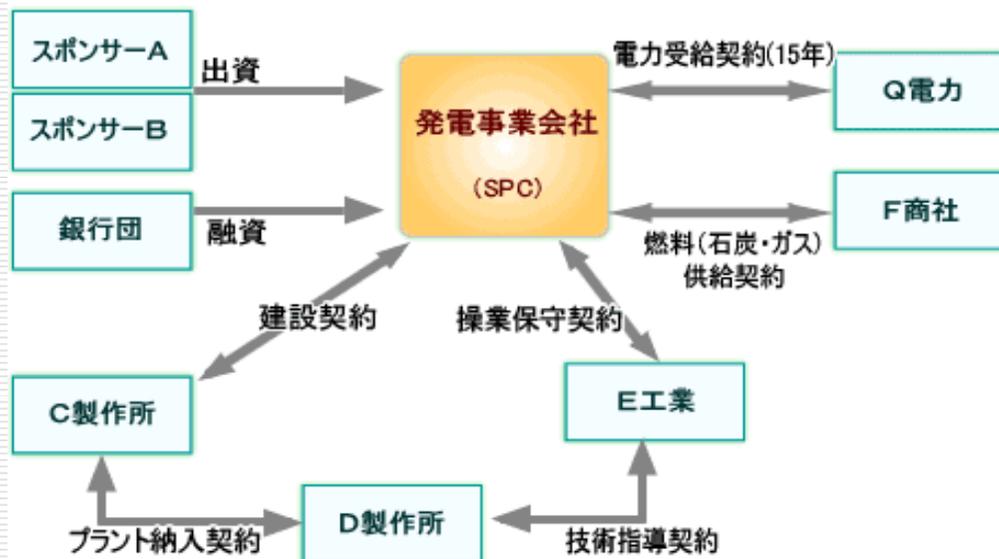


図1:プロジェクト・ファイナンスの例

➤銀行は事業に関する資産は不動のみならず、株式や契約上の地位等、事業に係る権利全てを担保

➤責任を負担すべき当事者を明確にし、当事者同士で責任を補完しあうことによって、事業収益から確実に返済可能な枠組みを組成し、維持

# 電気代の消費者物価指数

表1:過去の消費者物価指数(統計局より抜粋)

年	指数	年	指数	年	指数	年	指数
1955	66.9	1968	68.4	1981	139.2	1994	114.8
1956	66.9	1969	68.4	1982	139.9	1995	114.6
1957	67.6	1970	68.4	1983	139.9	1996	111.2
1958	67.7	1971	68.3	1984	139.9	1997	115.1
1959	67.7	1972	68.1	1985	139.9	1998	110.7
1960	68.3	1973	68	1986	132.9	1999	108.5
1961	69.1	1974	77.6	1987	123.5	2000	109.2
1962	69.2	1975	81.4	1988	120.6	2001	107.6
1963	69	1976	87.6	1989	117.8	2002	105.2
1964	68.3	1977	97.2	1990	116.7	2003	103.1
1965	68.1	1978	95.5	1991	116.7	2004	102.5
1966	68.3	1979	95.5	1992	116.7	2005	100
1967	68.4	1980	128.3	1993	116.3		

# 東伊豆風力発電の発電量データ

- 東伊豆風力発電の発電量データを下の表に示す

表2: 発電量データ

	2003	2004	2005	2006
1月		517293	412094	344384
2月		495572	318356	480157
3月		328393	290884	252753
4月		294491	256092	388795
5月		369633	201086	146116
6月		237828	367533	384398
7月		509903	590535	
8月		248022	273675	
9月	191850	370739	465155	
10月	378081	401368	249431	
11月	477834	352715	434492	
12月	457347	434451	458459	
年平均	1505112	4560408	4317792	1996603

# 財務諸表

<歳出>

(単位:円)

款項目節	細節	予算額	支出額	予算残額
1.電気事業費		32,577,000	30,743,757	1,833,243
1.電気事業管理		143,000	143,000	0
1.一般管理費		143,000	143,000	0
19.負担金補助及び交付金		143,000	143,000	0
1.風力発電推進市町村全国協議会		20,000	20,000	0
2.全国風サミット参加負担金		102,000	102,000	0
3.セミナー等参加負担金		21,000	21,000	0
2.風力発電事業費		32,434,000	30,600,757	1,833,243
1.風力発電事業費		13,333,000	11,500,756	1,832,244
9.旅費		866,000	792,610	73,390
1.普通旅費		866,000	792,610	73,390
11.需用費		2,942,000	1,692,144	1,249,856
1.消耗品費		213,000	3,600	209,400
2.印刷製本費		289,000	288,225	775
4.光熱水費		1,440,000	1,400,319	39,681
5.修繕料		1,000,000	0	1,000,000
12.役務費		426,000	422,592	3,408
5.電話料		351,000	348,210	2,790
11.町村有建物災害共済基金分担金		75,000	74,382	618
13.委託料		8,600,000	8,095,500	504,500
2.発電施設保安管理委託料		8,600,000	8,095,500	504,500
14.使用料及び賃借料		315,000	315,000	0
6.遠隔監視システム使用料		315,000	315,000	0
18.備品購入費		184,000	182,910	1,090
1.ノートパソコン購入費		181,000	180,600	400
2.データ通信カード購入費		3,000	2,310	690
2.風力発電基金費		19,101,000	19,100,001	999
25.積立金		19,101,000	19,100,001	999
1.基金積立金		19,101,000	19,100,001	999

図2:財務諸表

# リスク中立確率の算出

- ここで、リスク中立確率 $p$ のもとでリアル・オプションの価値を計算していく。

ただし、 $p = \frac{r-d}{u-d} \dots (4)$  とする  $\left\{ \begin{array}{l} r \text{ は、無リスク資産の収益率} \\ u, d \text{ は上昇、下落シナリオを表す} \end{array} \right.$

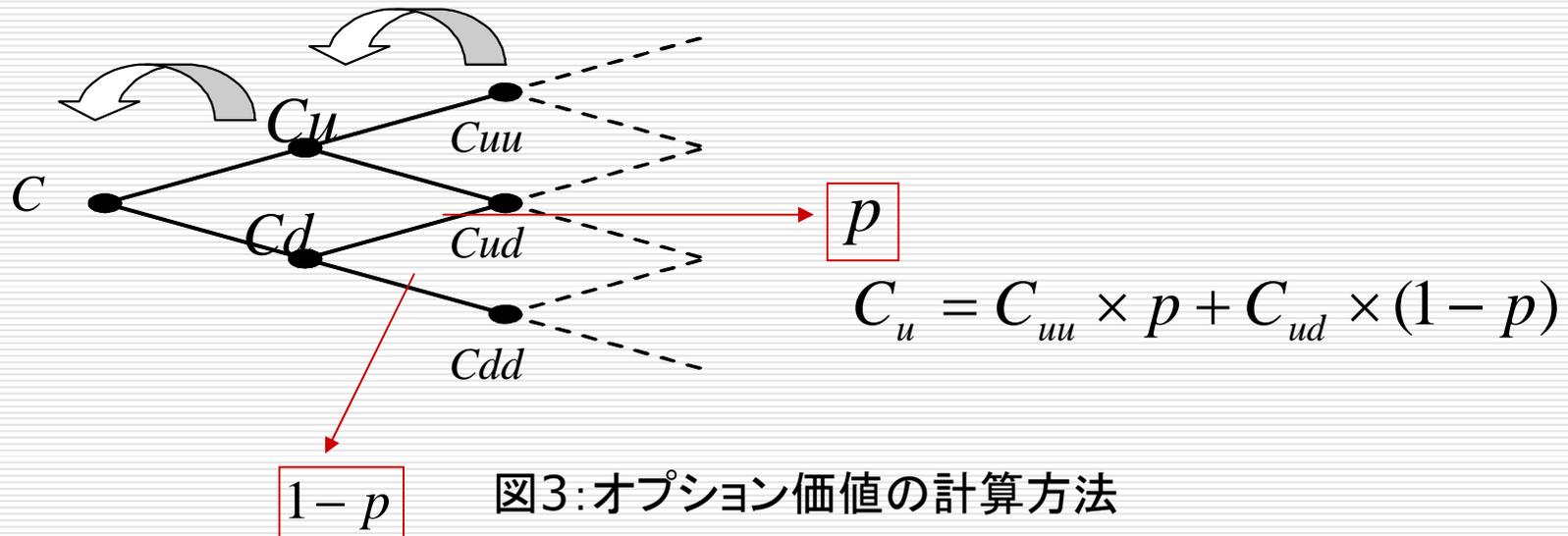


図3: オプション価値の計算方法