

サイエンス型産業の組織イノベーション： 増大する複雑性にどう挑む？

RIETIコンファレンス(2009年7月2日) プレゼン資料

中馬宏之
一橋大学イノベーション研究センター

自己紹介：最近の研究テーマ

＜半導体産業（デバイス、装置、材料） の競争力に関連した経済・経営分析＞

- 国際半導体ロードマップ活動(&Intel流R&D戦略)の経済（含む歴史）分析、
- 電子顕微鏡球面収差補正イノベーション実現に至る歴史プロセスの分析、
- DRAMビジネス盛衰プロセスと実装イノベーションの関連分析

最近の聞き取り調査事例(半導体関連)

- **半導体メーカー**: Epson, NEC, Trecenti (now, Renesas), Mitsubishi Electric, Matsushita, Fujitsu, Fujitsu-AMD, SONY, UMCJ, Hiroshima-Elpida, Toyota(Hirose-Fab), Richo, Pioneer, TSMC (Taiwan), Winbond (Taiwan), ProMOS (Taiwan), SMIC(China), Intel (Ireland), AMD (Germany), Micron (Japan), etc.
- **半導体製造装置メーカー**: Nikon, Canon, ASML, Ultratech (US), Ebara, Hitachi-High Technology, Dai Nippon Screen, TEL, Daifuku, AMAT(US), Novellus(US), Lam Research(US), Mattson(US), etc.
- **半導体材料メーカー**: JSR (Japan, US, Belgium,Korea, Taiwan), TOK(Japan)), etc.
- **研究開発コンソーシアム**: STARC, SELETE, MIRAI, ASPLA, IMEC(Belgium), SEMATECH(US), NY Albany Nanotec. Center (US)), etc.
- **その他**: STRJ & ITRS(Factory Integration, etc.)等

類型化された事実？

- **MarketのComplexity増大速度**について行けなくなってきた？
- **TechnologyのComplexity増大速度**について行けなくなってきた？
→なぜ？
→それはデバイス/装置メーカーに特有？
(なぜ材料は強い？)
→日本のサイエンス型産業の弱点暗示？

サイエンス型産業の試練？

- ◆加速する市場&テクノロジーの複雑性
- ◆加速の主因=ICTが可能にした新次元の“組合せ複雑性”発現
 - “大局最適化” & “Speed-to-Market”の同時達成という難問の出現
 - 旧来の組織内・組織間における情報転送速度・応答速度が律速要因？**
 - “Innovability”の低下、その“先駆け”現象が日本のEngineering-Science型の半導体産業？

5

半導体事業経営の難しさ

- 巨大装置産業with大規模な研究開発投資
 - 大きな埋没費用が大きなリアル・オプション(実物資産・柔軟選択権)延期価値生成
 - 最重要課題：“待ち戦略”**
- 製品の短ライフサイクル化・“生鮮食品”化
 - 最重要課題：“Speed-to-Market”**
- 上記の**二律背反状況**をいかに解決？

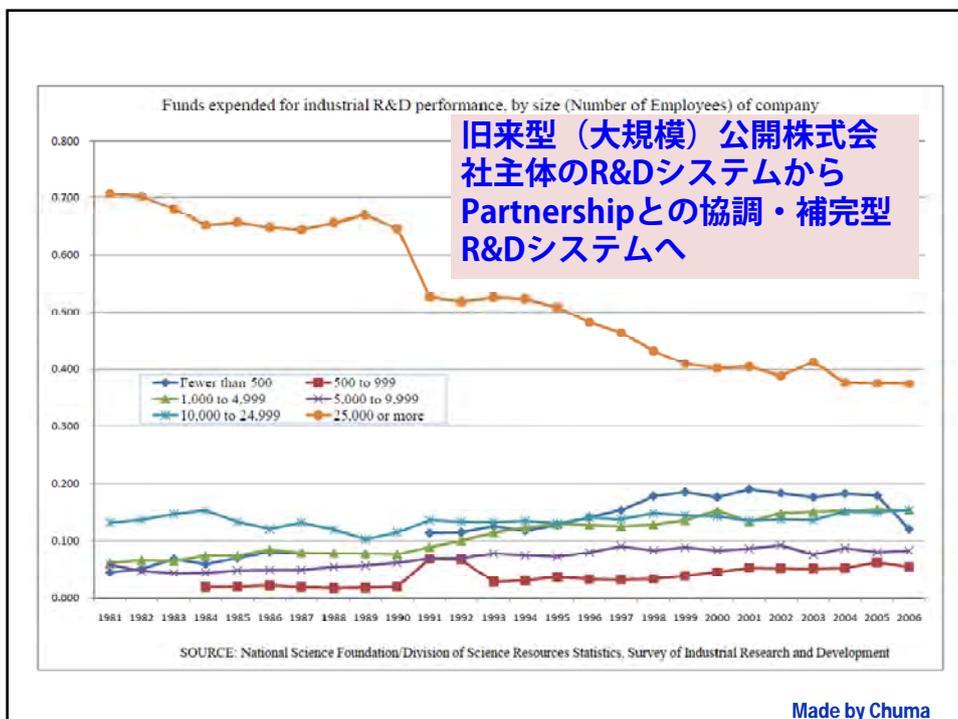
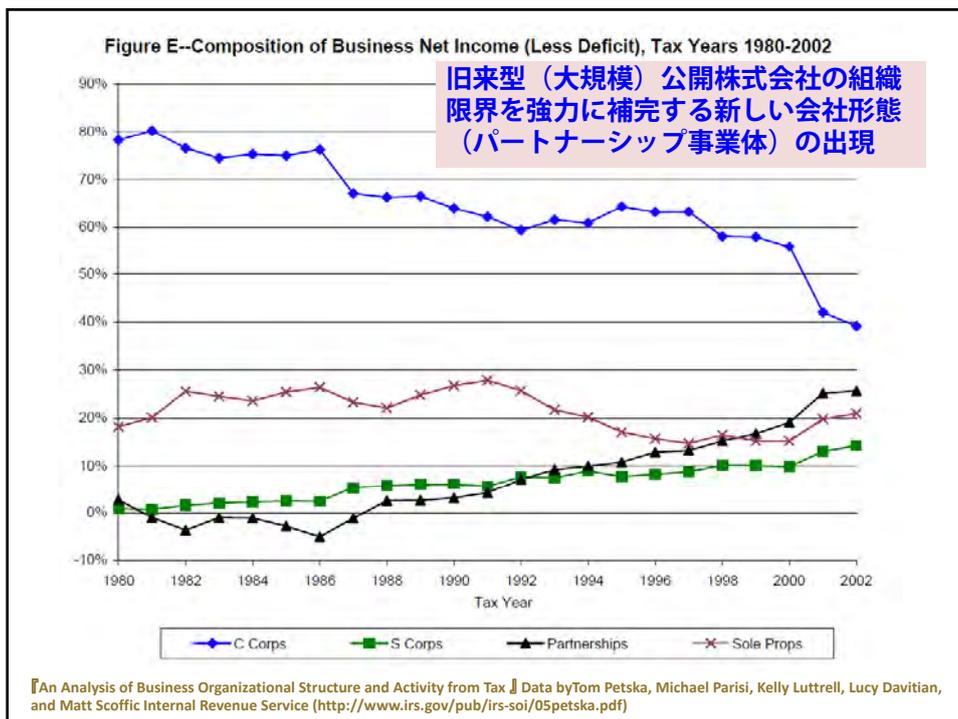
6

二律背反状況の本質的解決策

- ・ 組織内・組織間の**情報転送速度と応答速度の飛躍的向上**
 - 競争力弱化要因(ICT)が新たな解決手段？
 - “部分と全体”の国に強力な“全体”把握手段提供
 - 感性・サイエンス具有の国民性が(再度)強みに？
- ・ 組織内・組織間で交換可能な**共有知識の粒度向上とそれらの一目瞭然化**
 - “Cave(蛸壺)”間の情報転送・応答速度急増
 - 組織内・組織間に跨る広範囲&頻繁な即興演奏

そもそも世界的に 何が起きているのか？

急増する**専門知識の閉鎖性** & **Innovation**
投資の**大規模化** → 解決策としての**企業組織形態イノベーション**

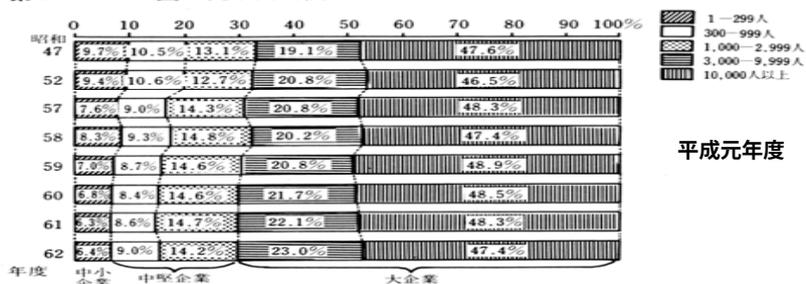


	2003	2004	2005	2006	2007
1 全 産 業	11,496,855	11,704,668	11,847,859	12,727,231	13,310,724
1 ~ 299 人 (1)	650,553	1,059,409	934,118	1,008,456	947,711
300 ~ 999 (2)	3,018,150	3,019,044	2,040,457	2,002,510	3,202,432
1 000 人 以上 (5)	4,817,121	4,766,038	4,947,335	5,359,191	5,489,680

旧来型のR&Dシステムに固執する日本

	2003	2004	2005	2006	2007
1 全 産 業	100	100	100	100	100
1 ~ 299 人 (1)	5.7%	9.1%	7.9%	7.9%	7.1%
300 ~ 999 (2)	9.9%	10.9%	10.9%	10.8%	10.8%
1 000 ~ 2 999 (3)	15.8%	15.3%	17.2%	17.1%	16.8%
3 000 ~ 9 999 (4)	26.8%	24.1%	22.3%	22.0%	24.1%
10 000 人 以上 (5)	41.9%	40.7%	41.8%	42.1%	41.2%

第 1 - 1 - 23 図 従業員規模別にみた研究費シェア推移(製造業)



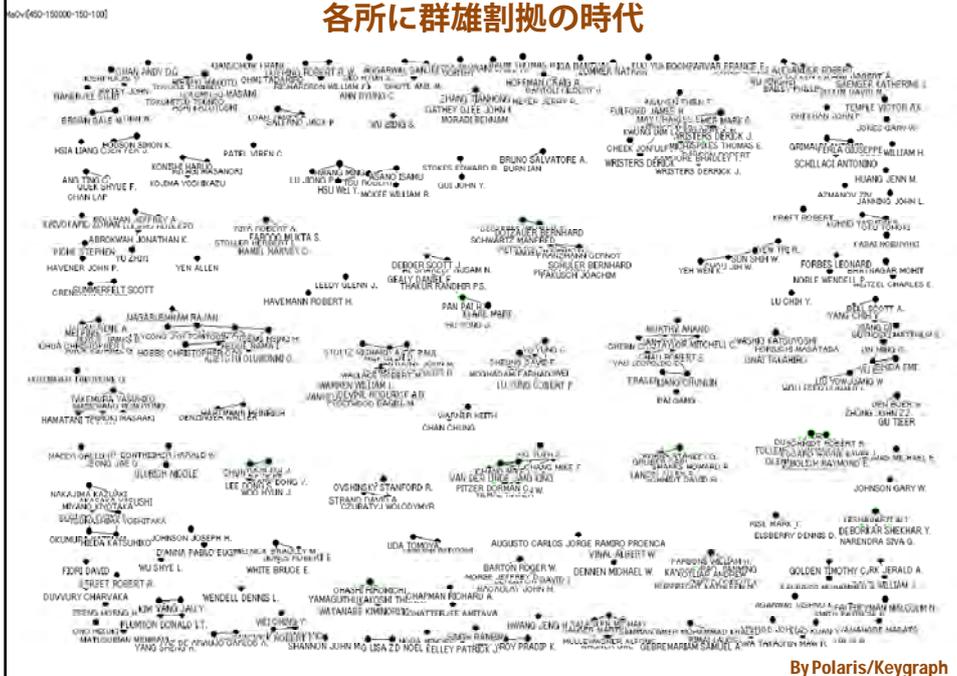
資料：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」より作成。

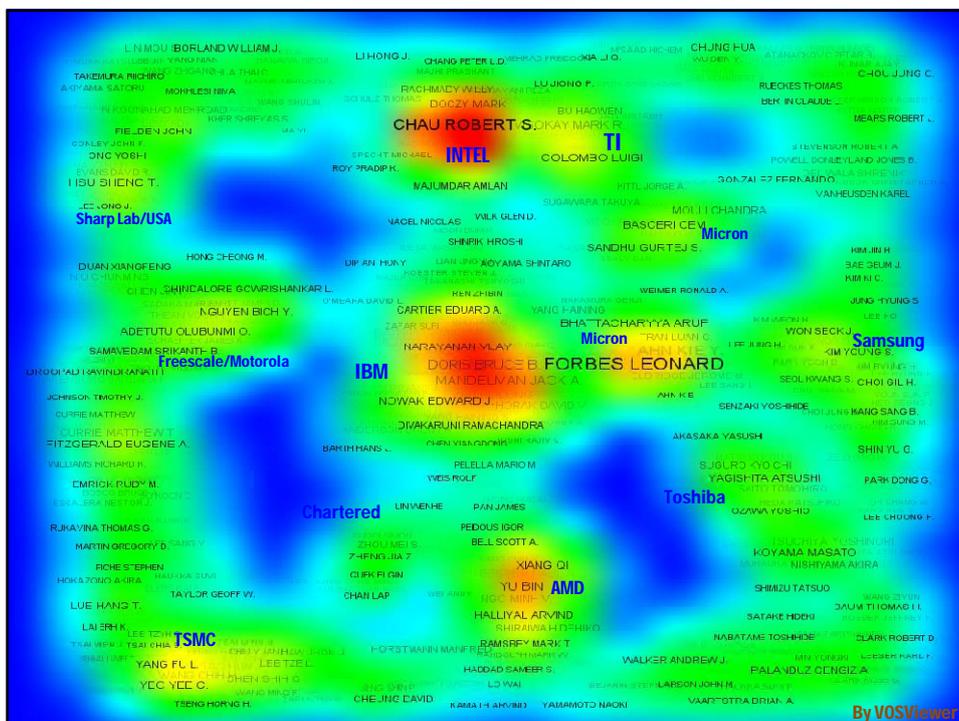
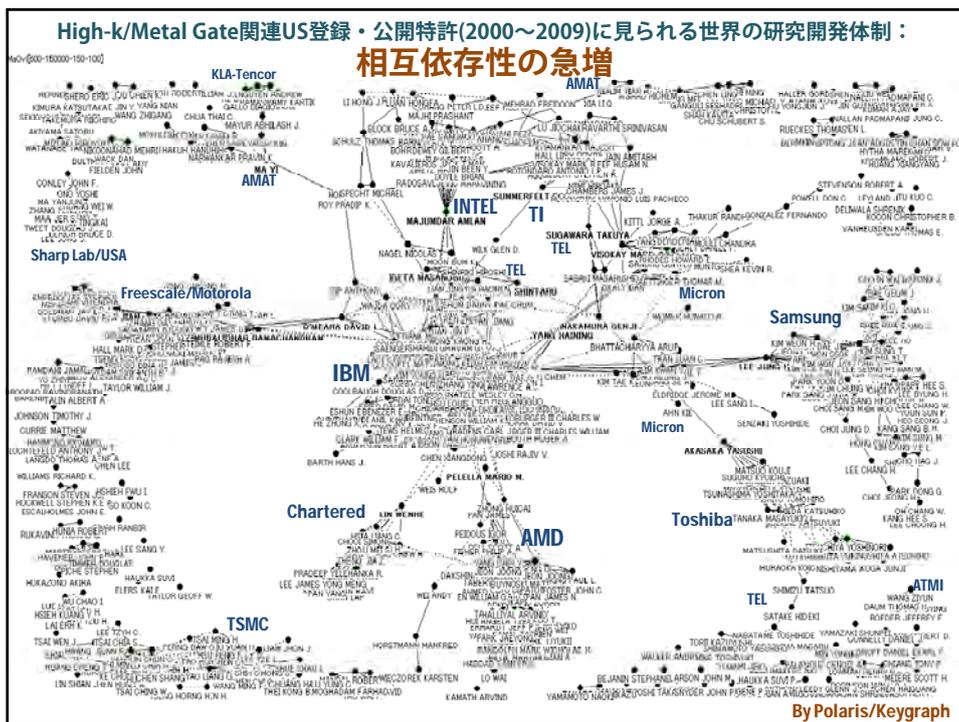
R&Dスタイル自体も大幅に変化？
High-k/Metal Gate事例に見られる新たな流れ？

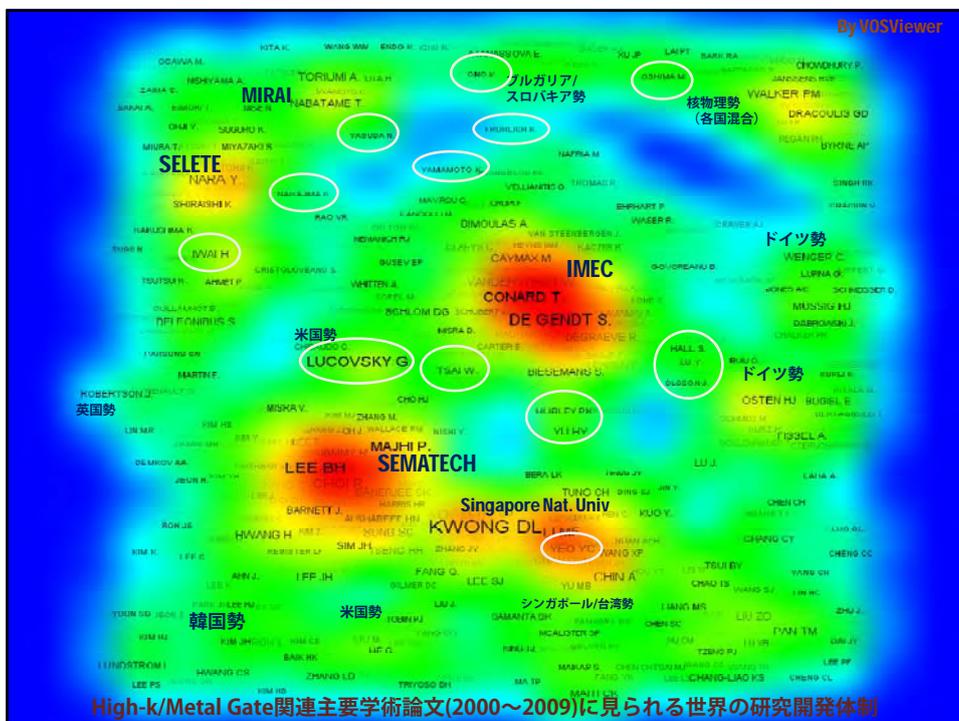
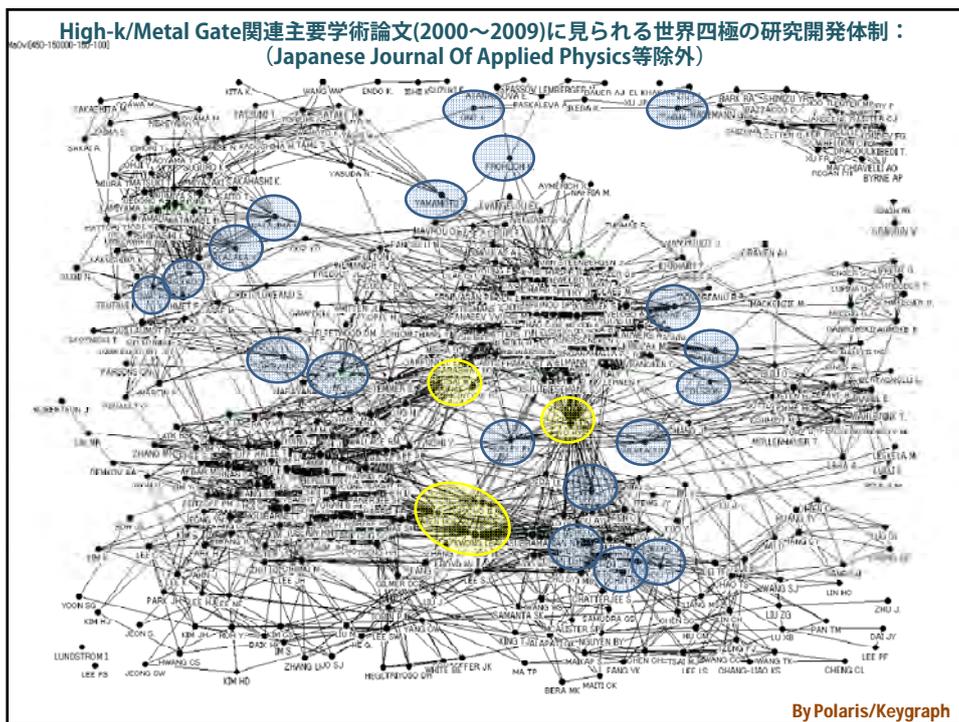
トンネル効果とHigh-k/Metal Gate: 90nm以降待機時のリーク電流(電流漏れ)が極めて深刻なレベルに到達→熱対策・低消費電力化の切り札 としても登場

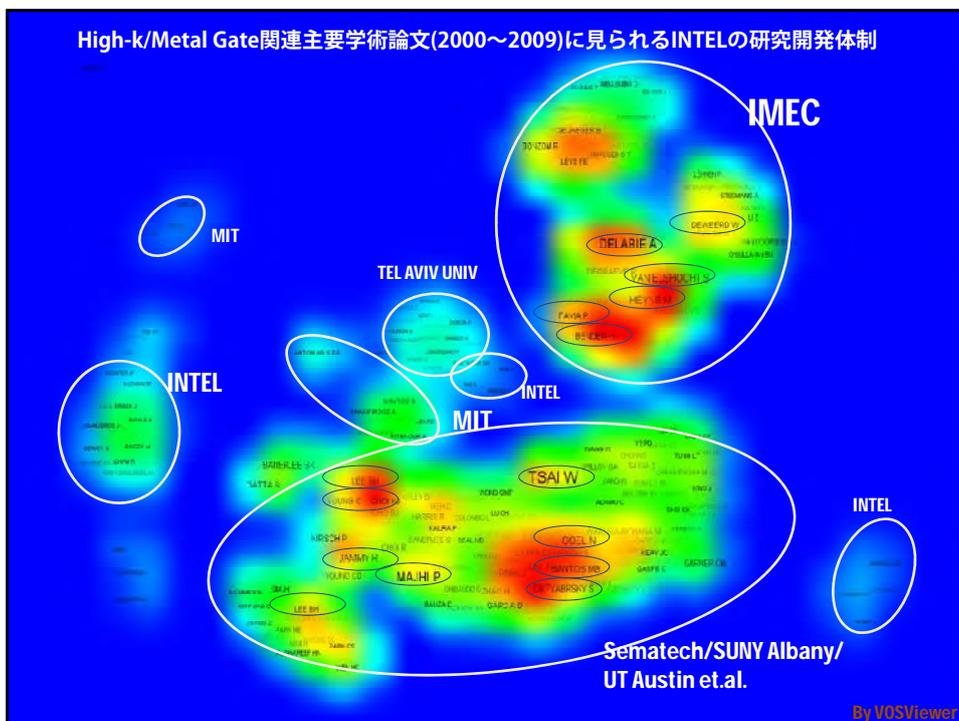
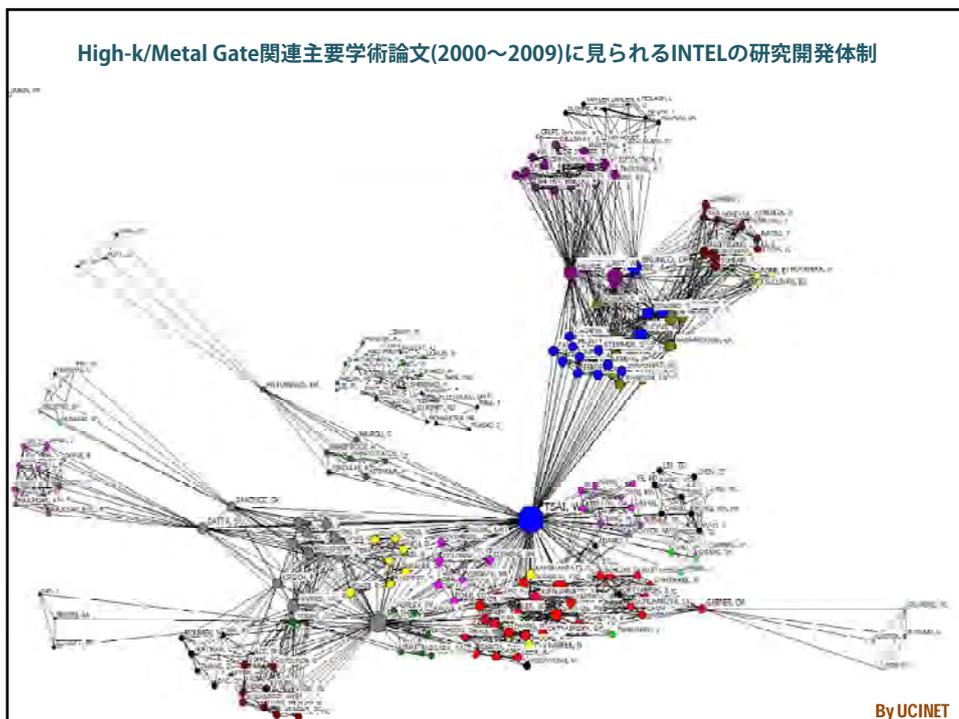
Mathematicaによるトンネル効果のシミュレーション

High-k/Metal Gate関連US登録・公開特許(~1999)に見られる世界の研究開発体制： 各所に群雄割拠の時代

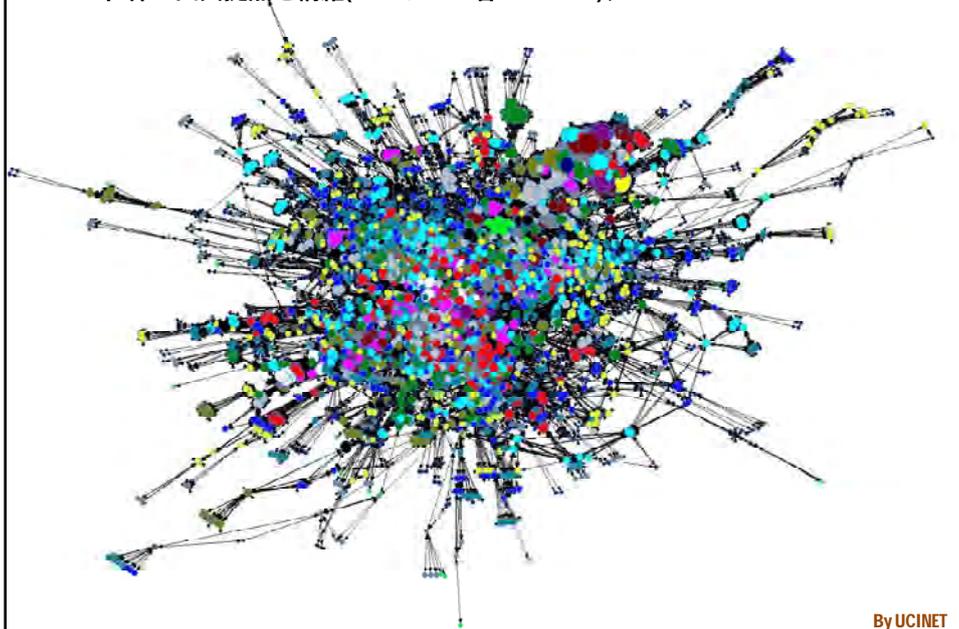






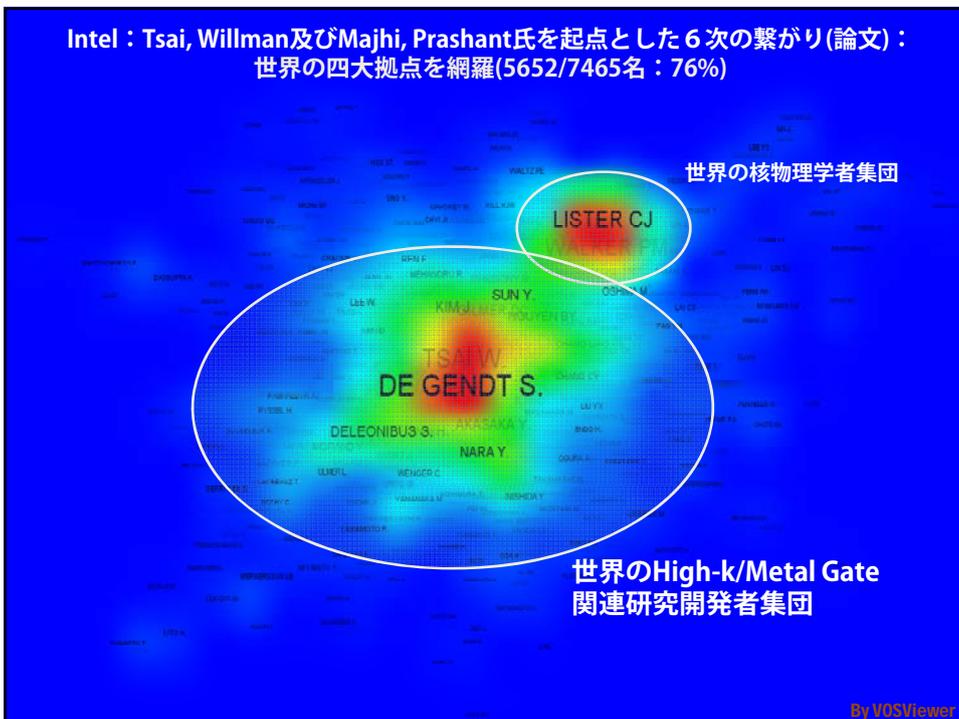


Intel : Tsai, Willman及びMajhi, Prashant氏を起点とした6次の繋がり(論文) :
 世界の四大拠点を網羅(5652/7465名 : **76%**)、"It's a Small World !"

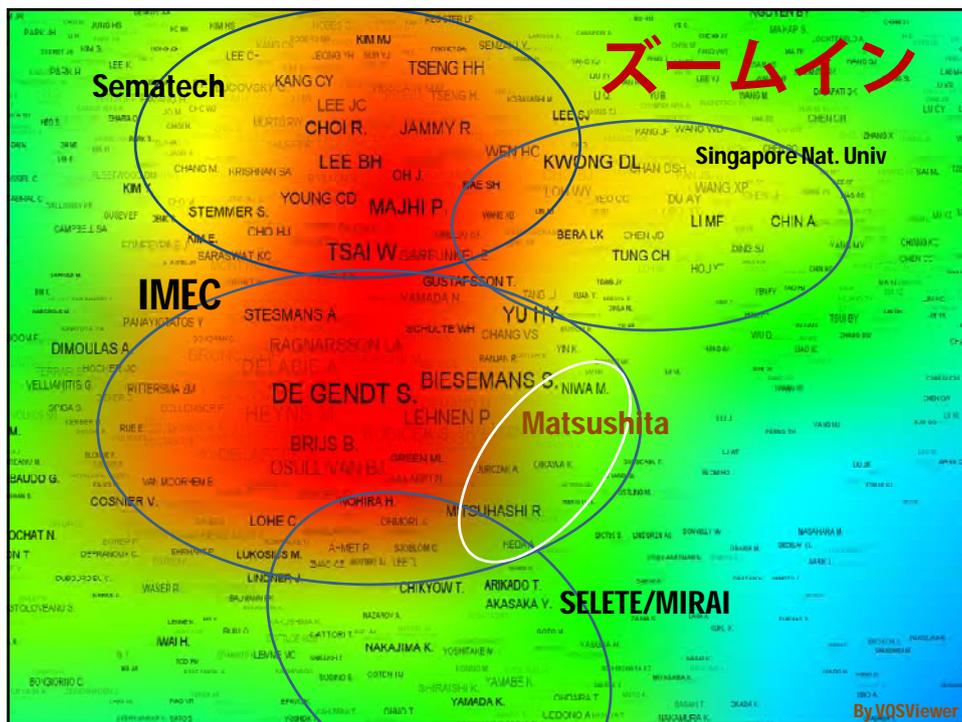


By UCINET

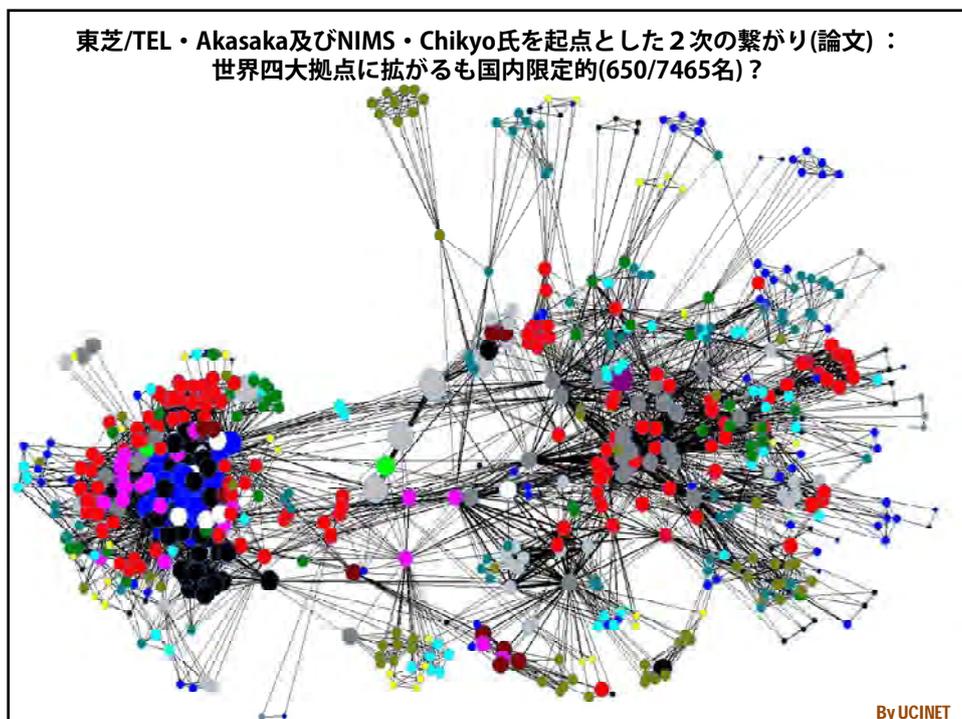
Intel : Tsai, Willman及びMajhi, Prashant氏を起点とした6次の繋がり(論文) :
 世界の四大拠点を網羅(5652/7465名 : 76%)

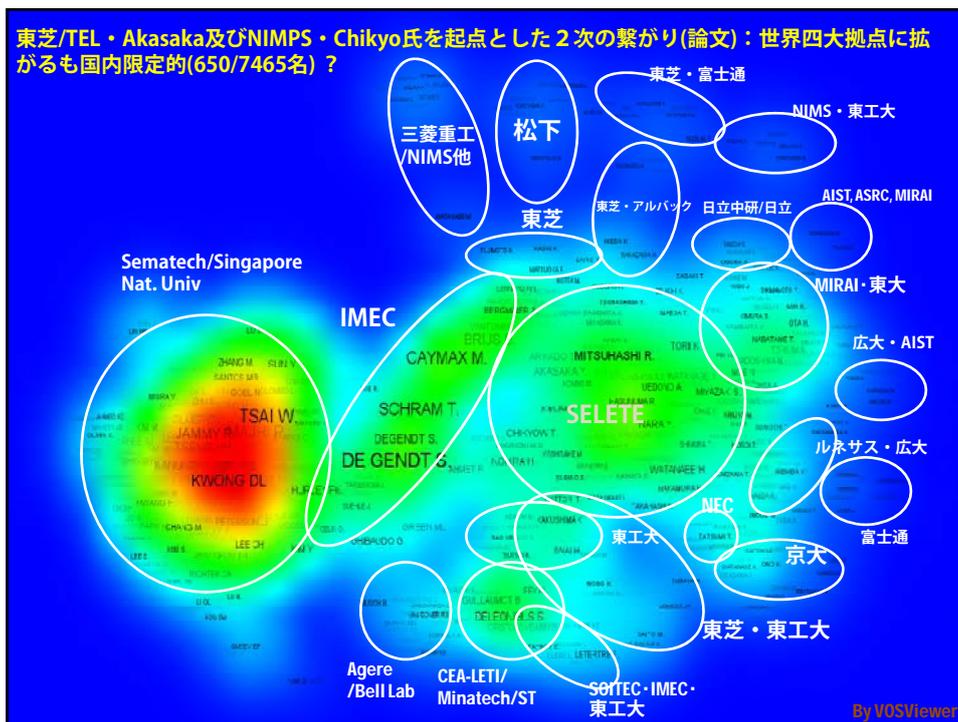


By VOSviewer



東芝/TEL・Akasaka及びNIMS・Chikyo氏を起点とした2次の繋がり(論文)：
世界四大拠点に拡がるも国内限定的(650/7465名)？

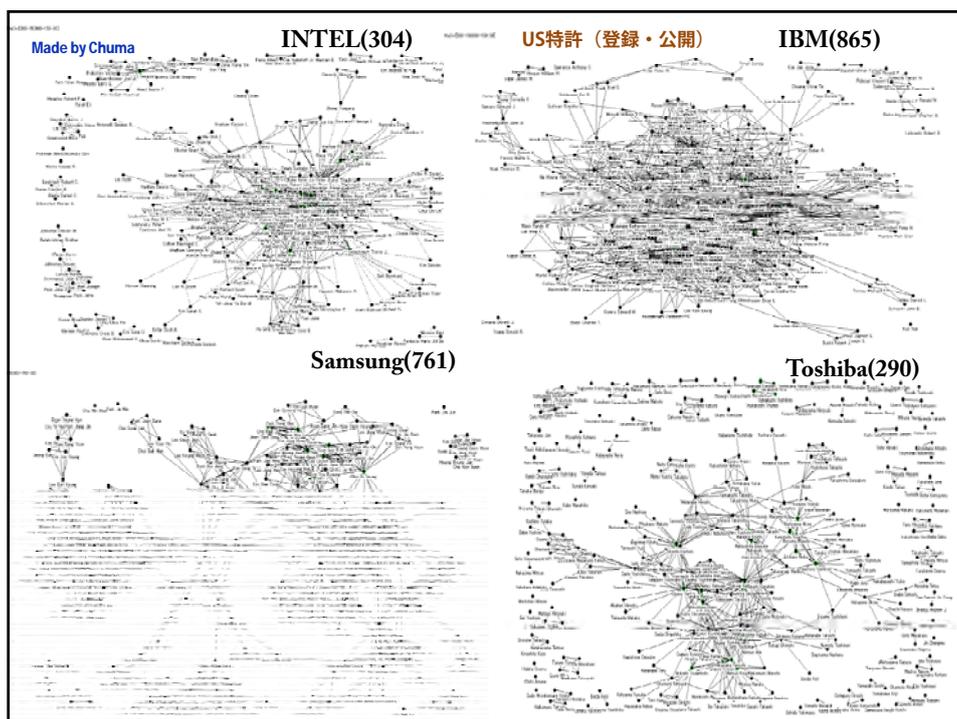




R&Dスタイルに根本的な違い？

Intel-IBM vs. 東芝-Samsung-TSMC

(情報の組織内・組織間転送速度と応答速度に大きな差異？)



各社主要(ベスト4)発明者のUS特許・共願情報に基づいた2次及び6次のネット網

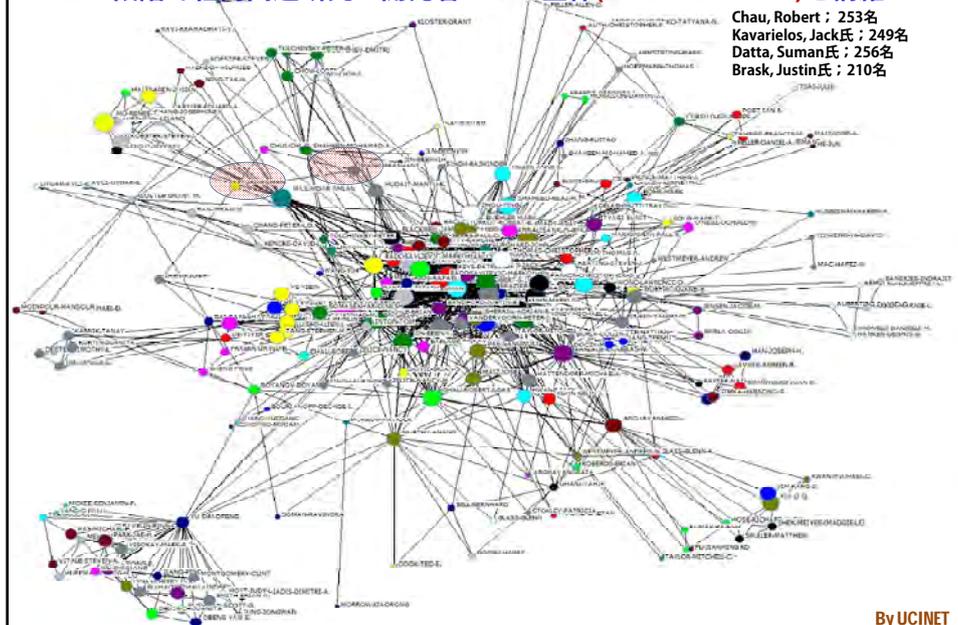
デバイスメーカー (推定社内研究開発者数)	発明者名	2次の繋がりがり(名)	対社内研究開発者数比率 (%)	6次の繋がりがり(名)	対世界研究開発者数比率 (%)
INTEL(304)	Chau, Robert	253	83.2	3307	28.5
	Kavarielos, Jack	249	81.9	3278	28.2
	Datta, Suman	256	84.2	3278	28.2
	Brask, Justin	210	69.1	2969	25.5
IBM(865)	Doris, Bruce	476	55.0	4439	38.2
	Jammy, Raj	586	67.7	4645	40.0
	Cabral, Cryle	489	56.5	4563	39.3
	Narayanan, Vijay	486	56.2	4675	40.2
Samsung(761)	Kim, Young S.	155	20.4	2414	20.8
	Lee, Seung H.	210	27.6	3187	27.4
	Park, Young S.	165	21.7	2811	24.2
	Lee, Jung H.	212	27.9	3312	28.5
Toshiba(290)	Suguro, Kyoichi	58	20.0	1700	14.6
	Ozawa, Yoshio	109	37.6	1521	13.1
	Mizushima, Ichiro	115	39.7	2473	21.3
	Inumiyama, Seiji	105	36.2	1505	12.9
TSMC(564)	Yeo, Yee-Chia	155	27.5	3473	29.9
	Tao, Hun J.	223	39.5	2295	19.7
	Hu, Chenming	160	28.4	3514	30.2
	Liang, Mong	221	39.2	2191	18.9

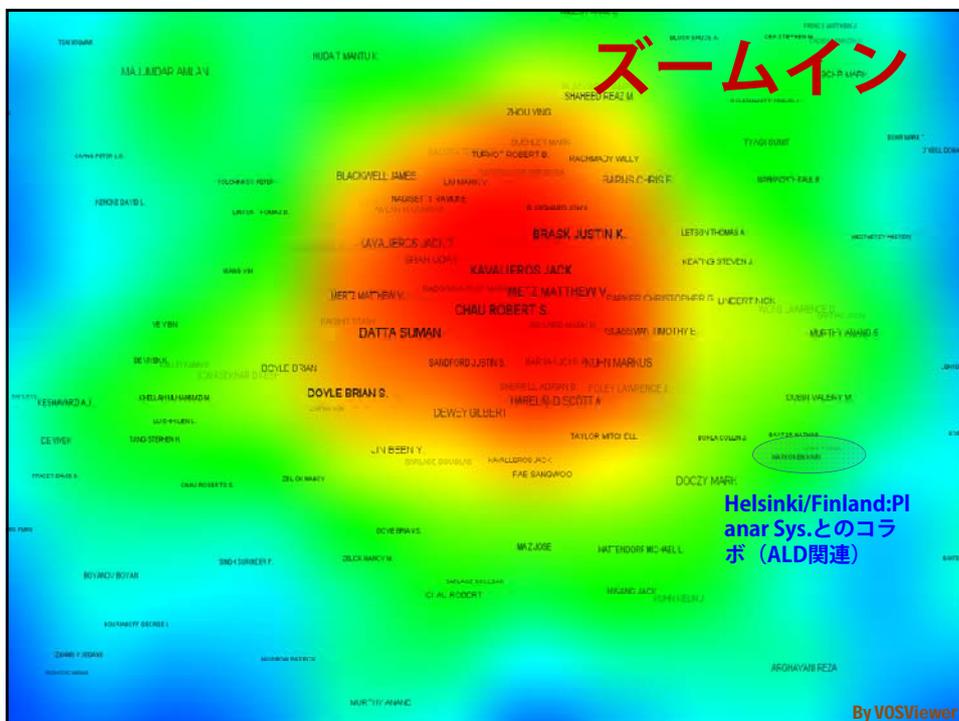
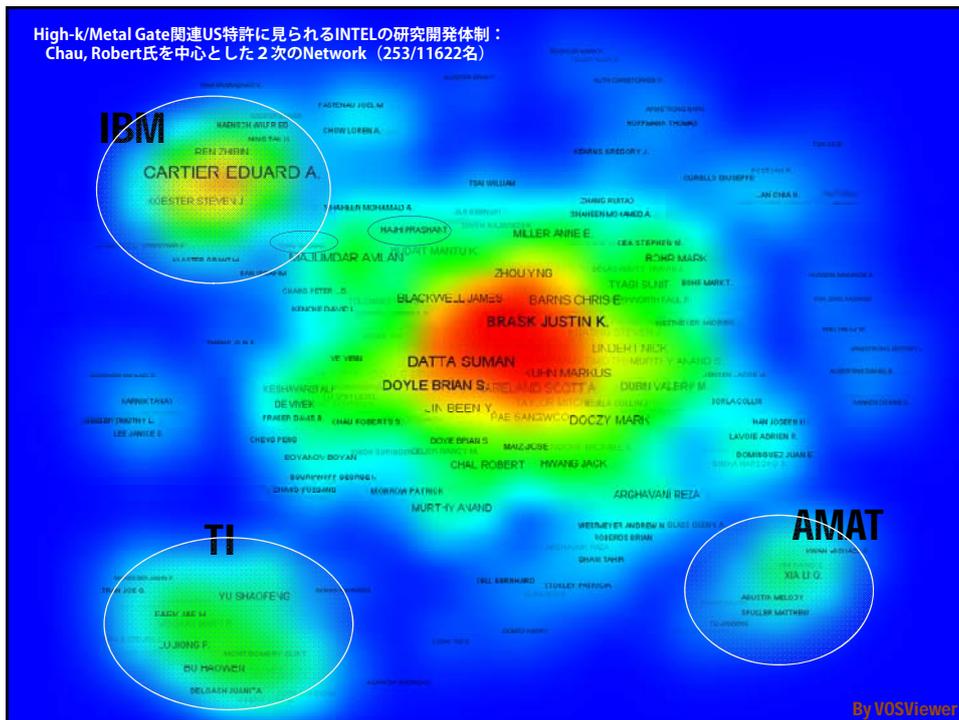
INTELに顕著な特性
•“Small World性” : 各自は閉じた世界(蝸壺)にいるような印象を持っている(クラスター係数大きい)にもかかわらず、実際には世界が狭い(平均到達距離が短い)というネットワーク特性
 →形式知&暗黙知双方の利用で情報応答速度もより高速化
•“スケールフリー性” : (特に)ネットワークの複雑性が増大しても(研究開発者間で)情報転送速度が落ちないという特性

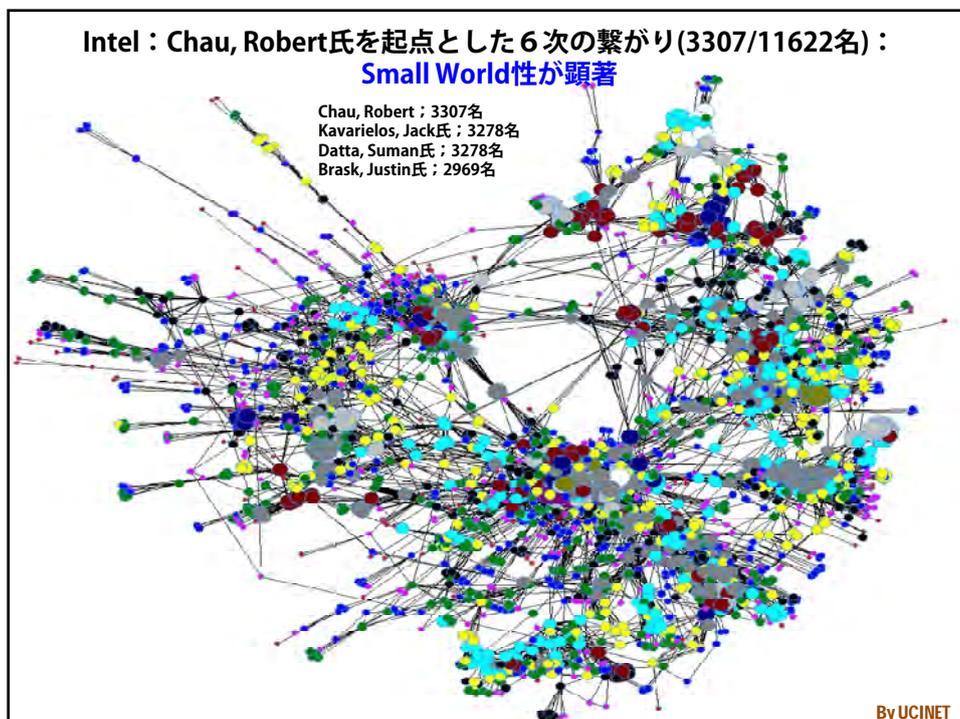
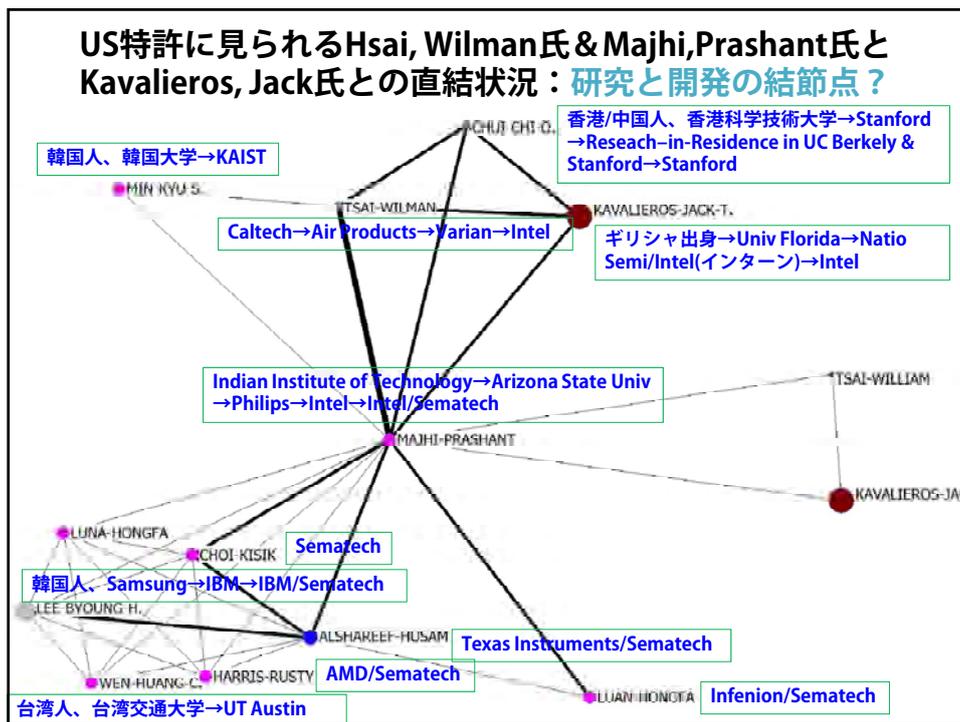
世界の推定関連研究開発者総数: 11622名

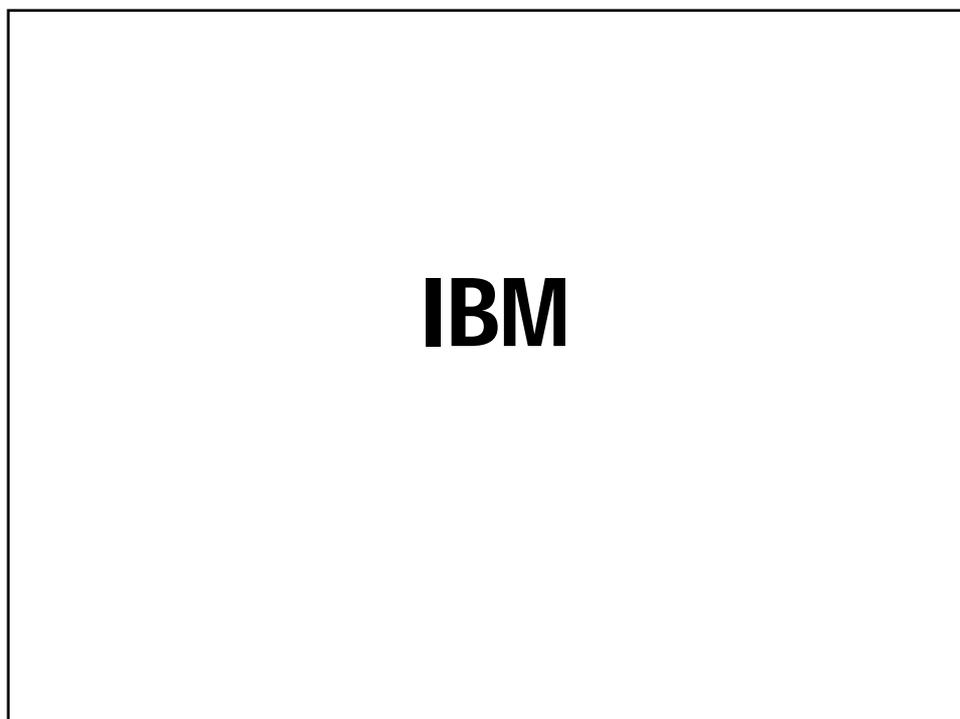
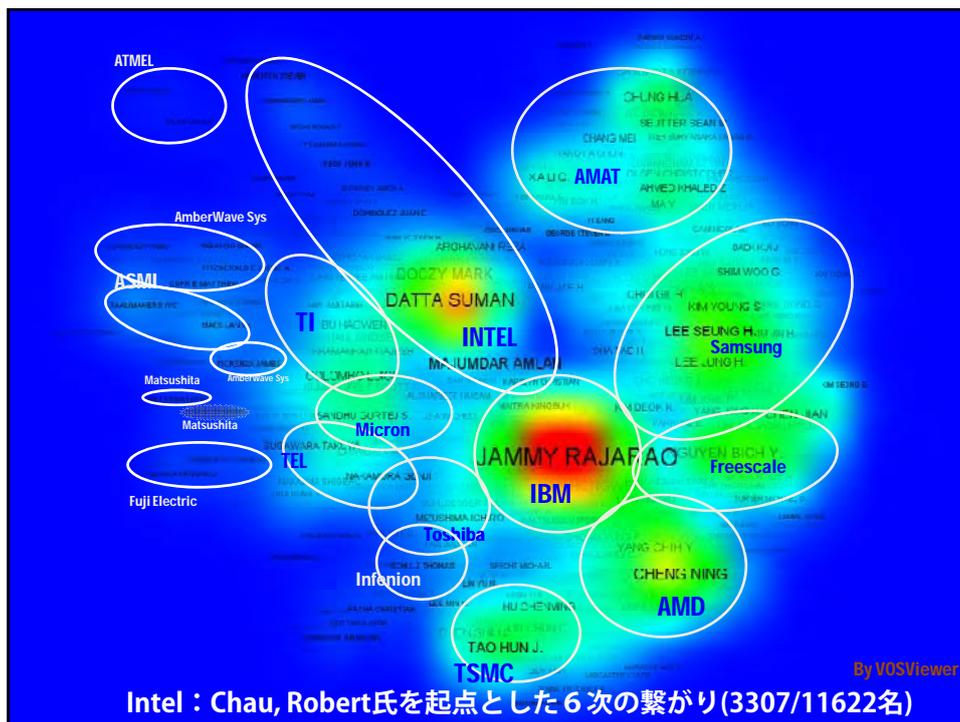
INTEL

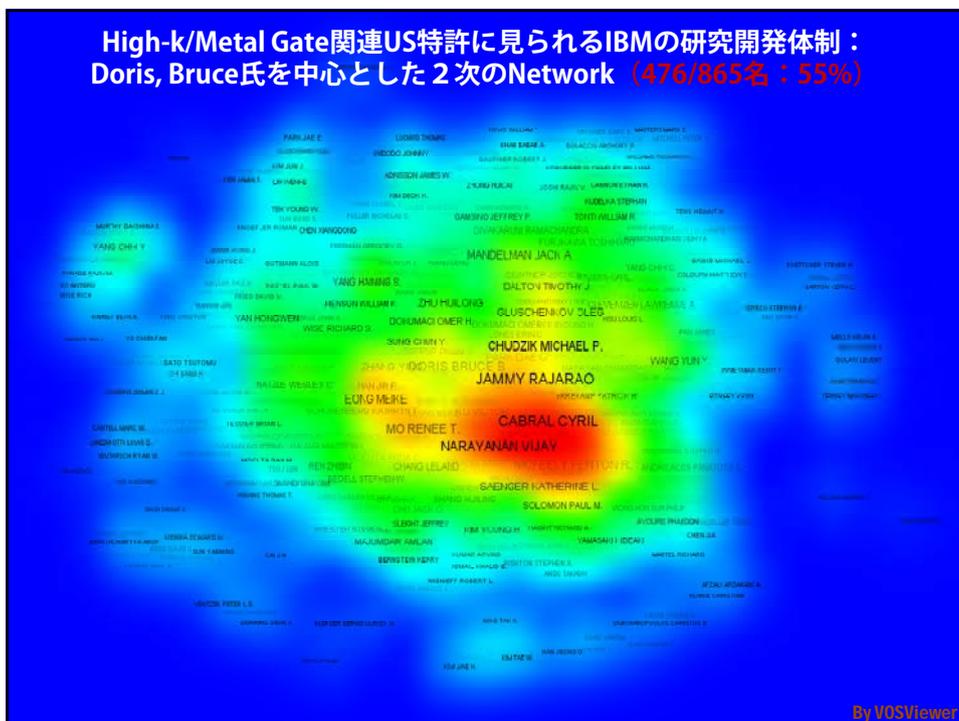
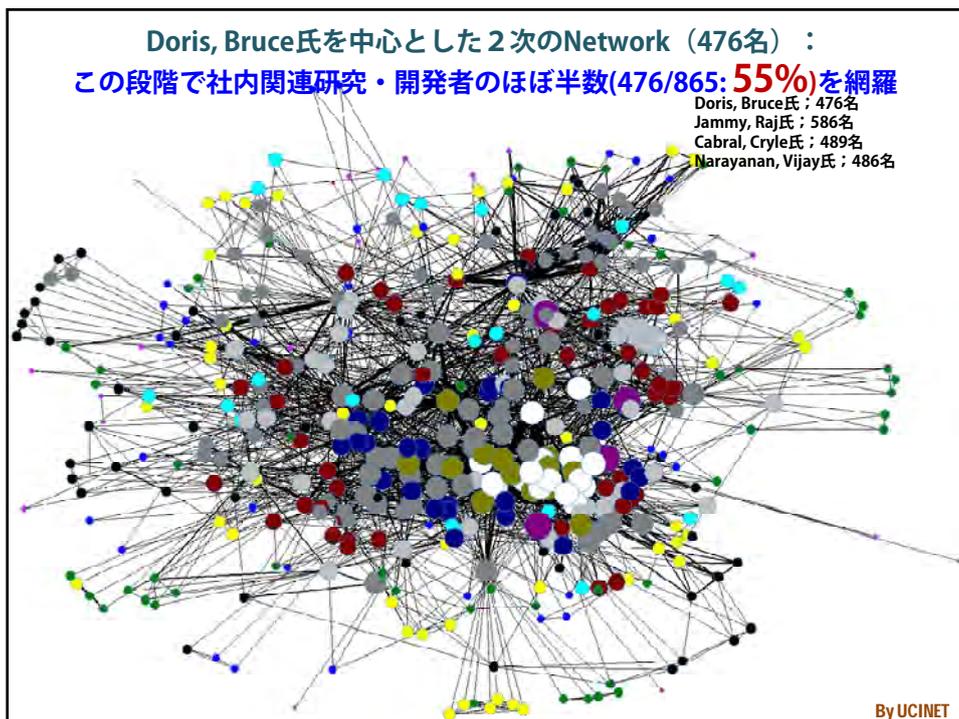
Chau, Robert氏を中心とした2次のNetwork (253/11622名) :
 この段階で社内関連研究・開発者のほぼ全体(253/304: **83%**)を網羅!

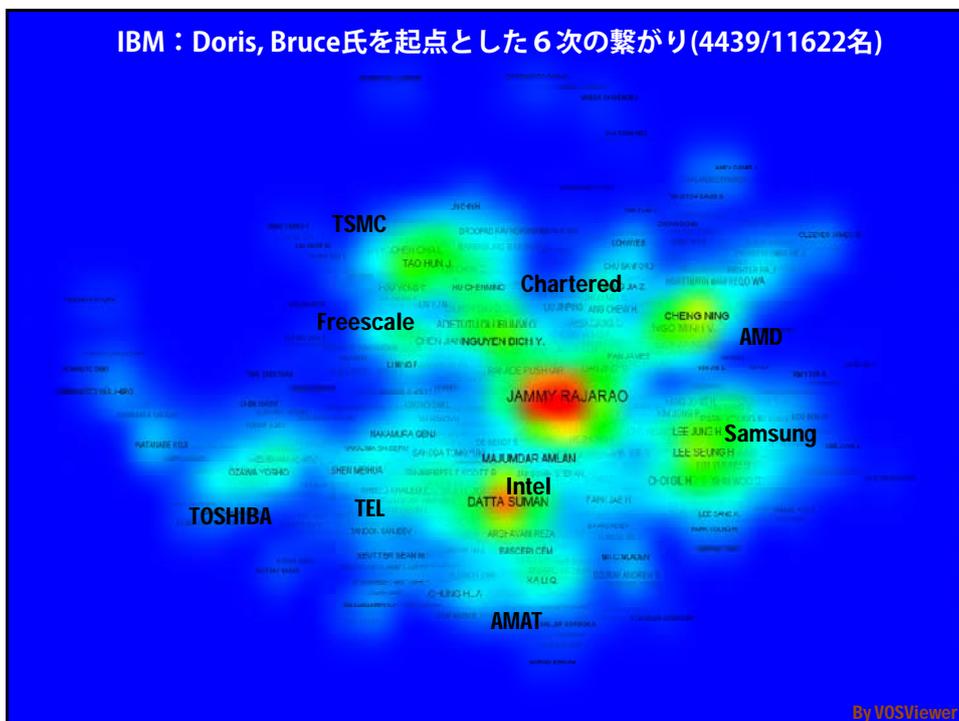
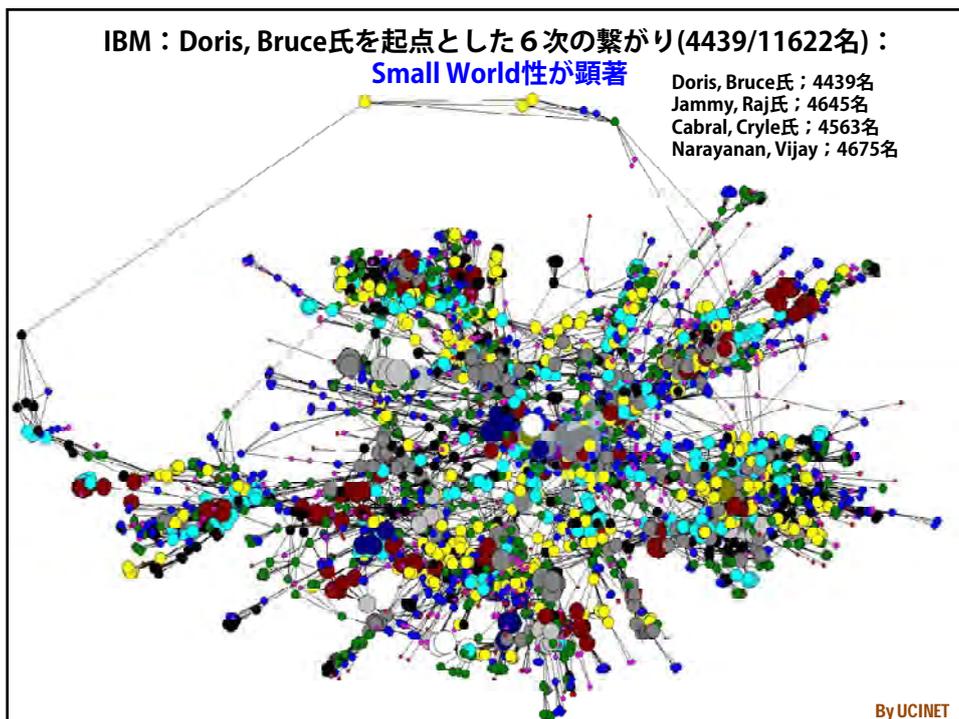


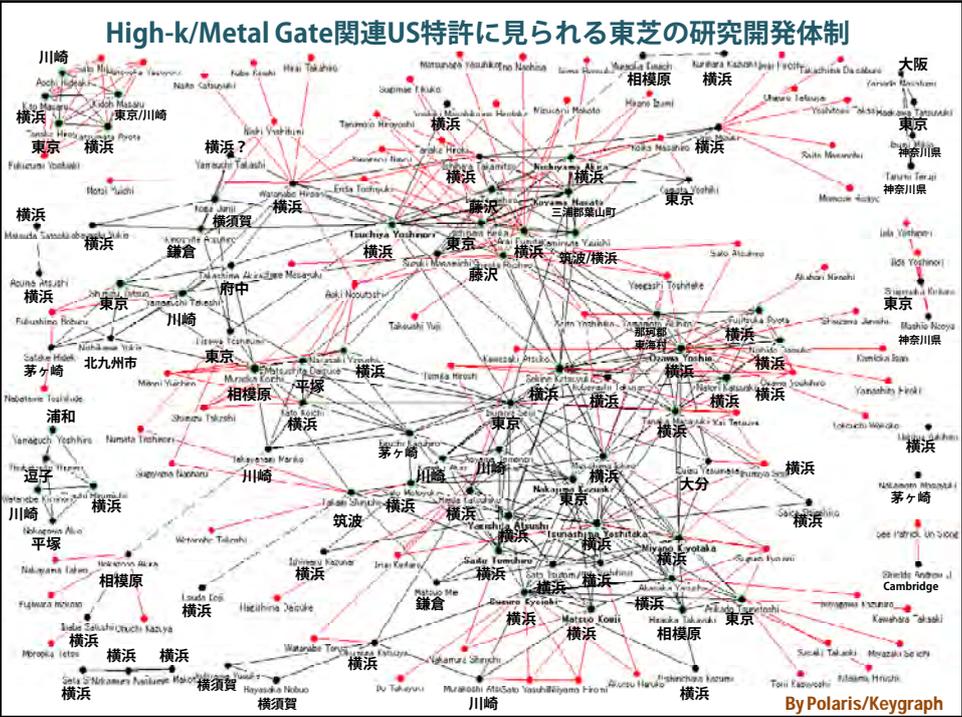


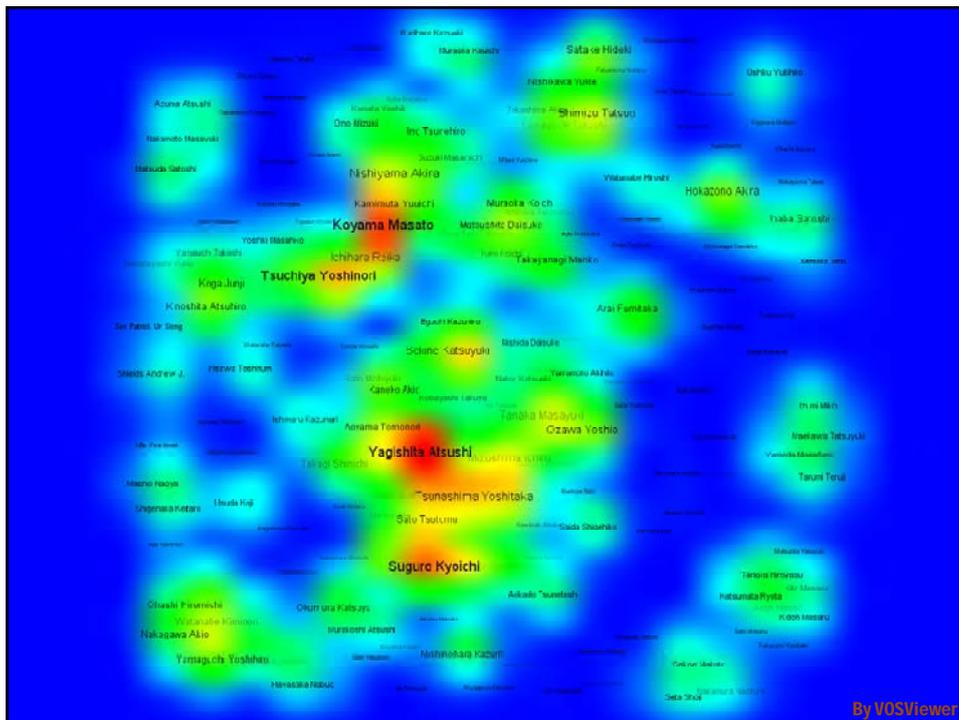




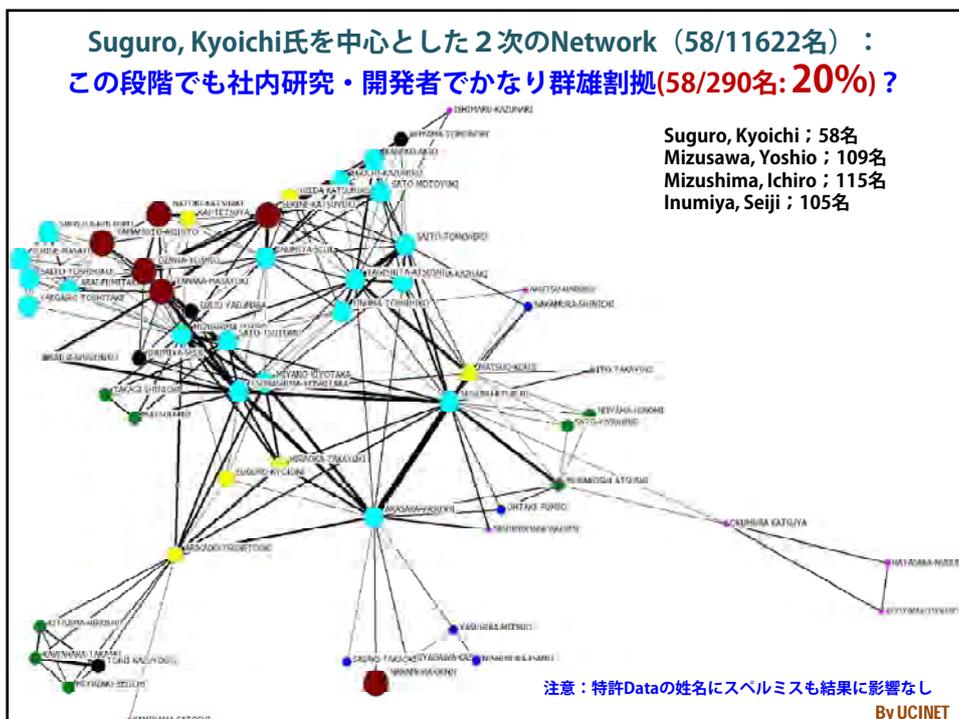


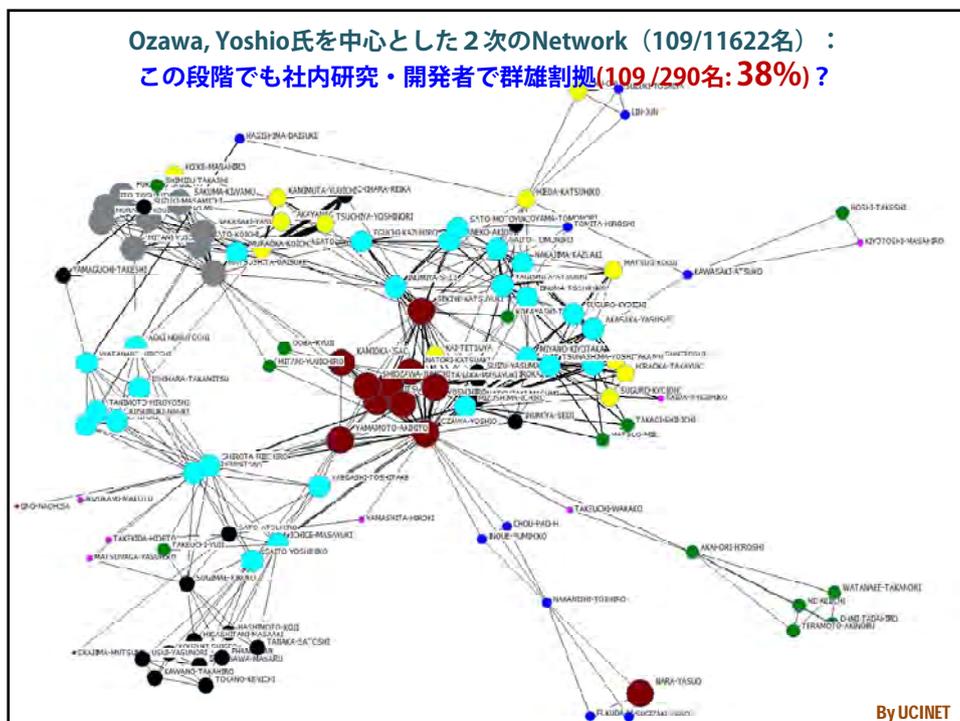
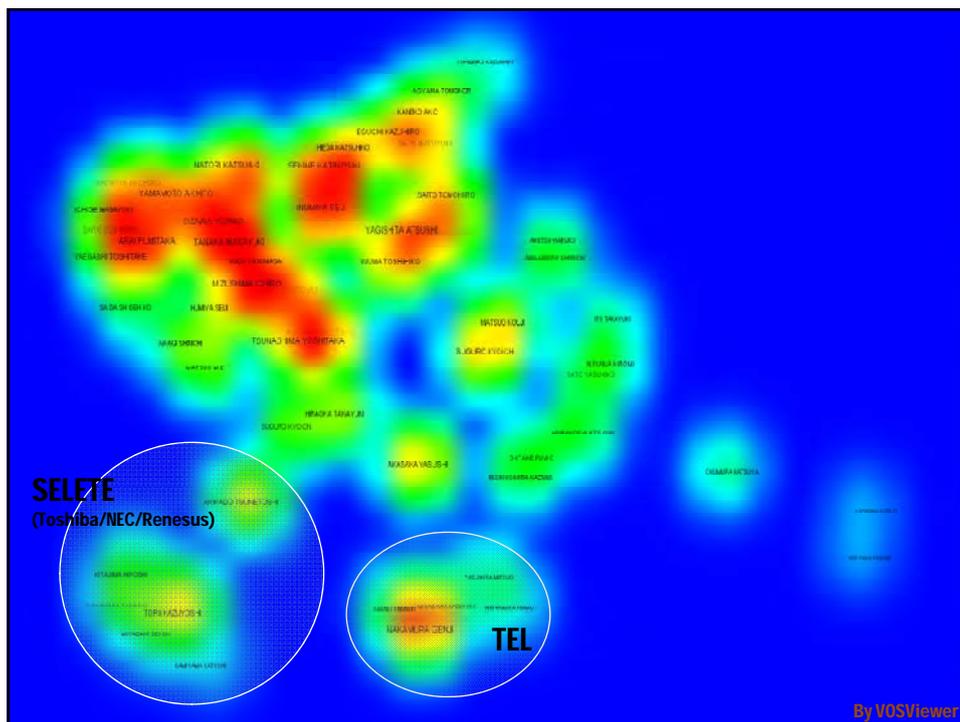


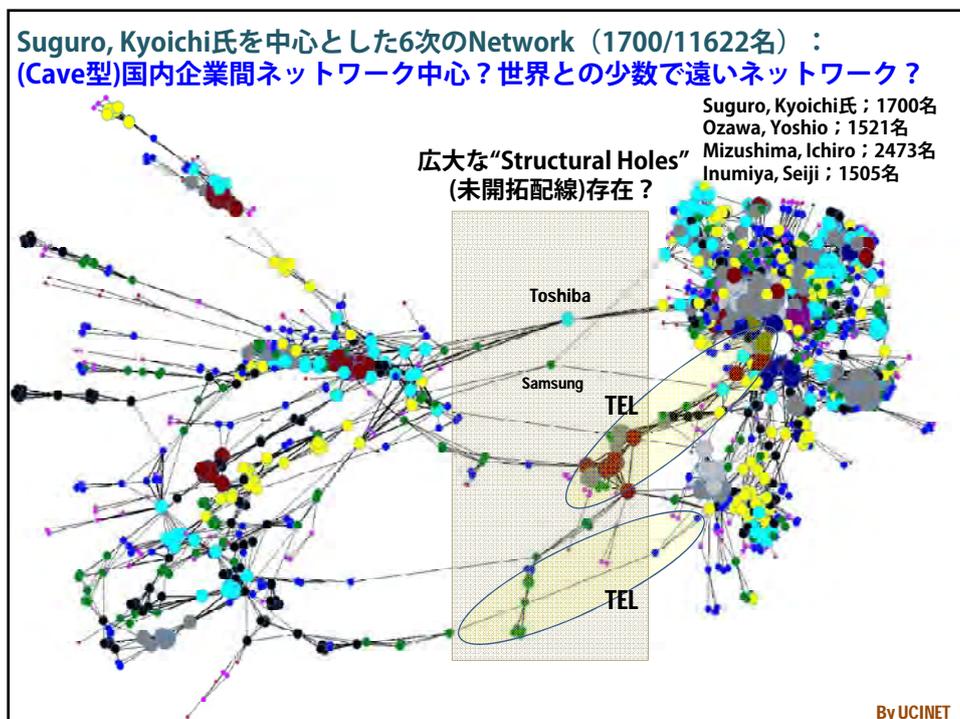
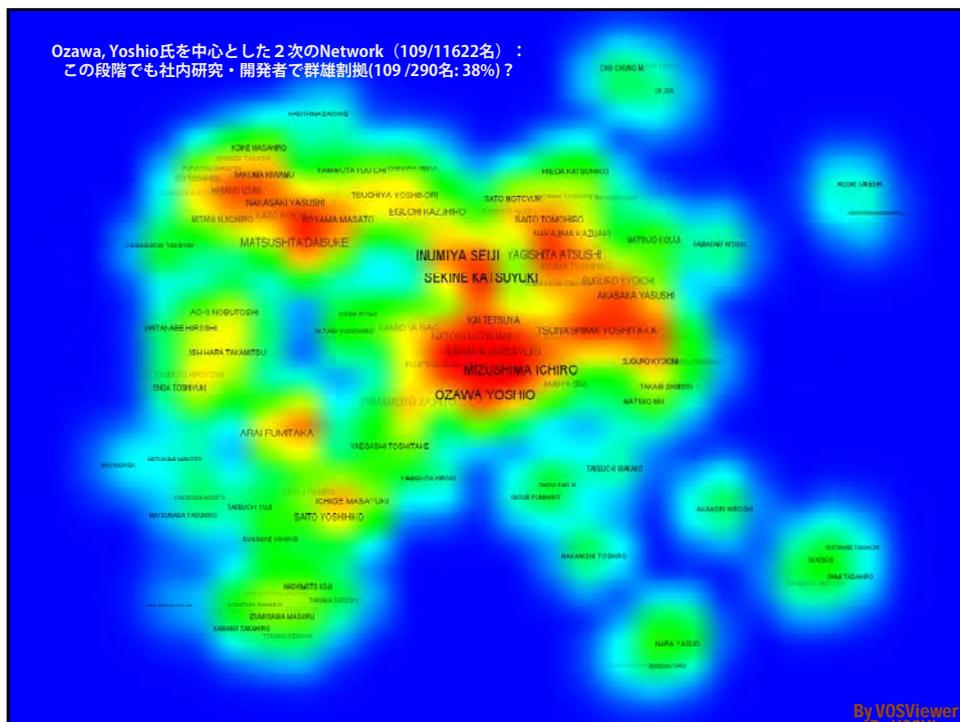


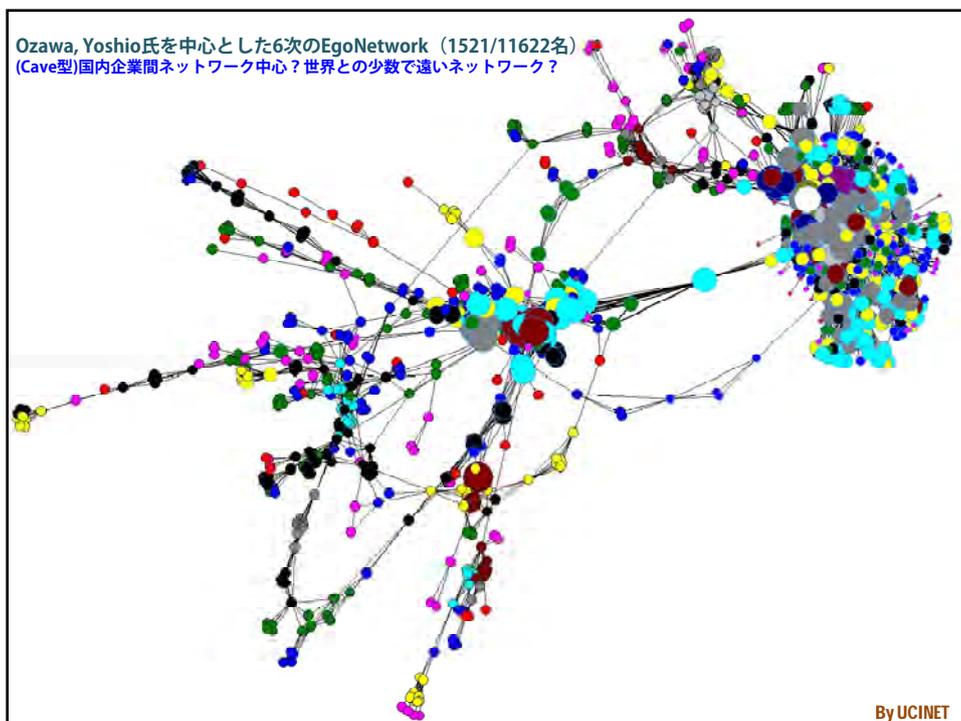
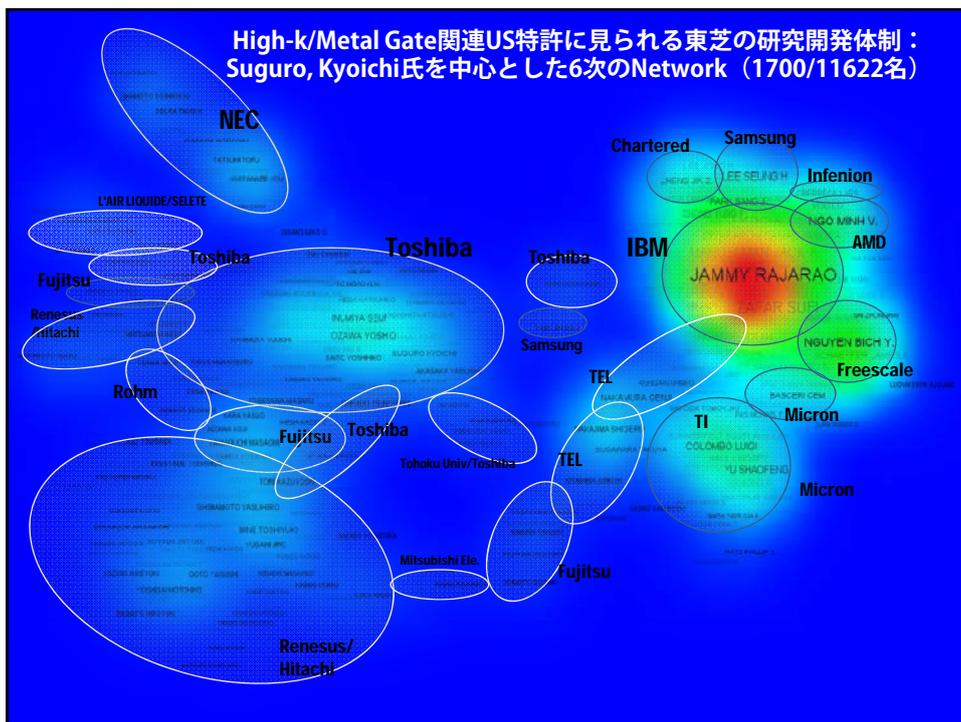


By VOSViewer





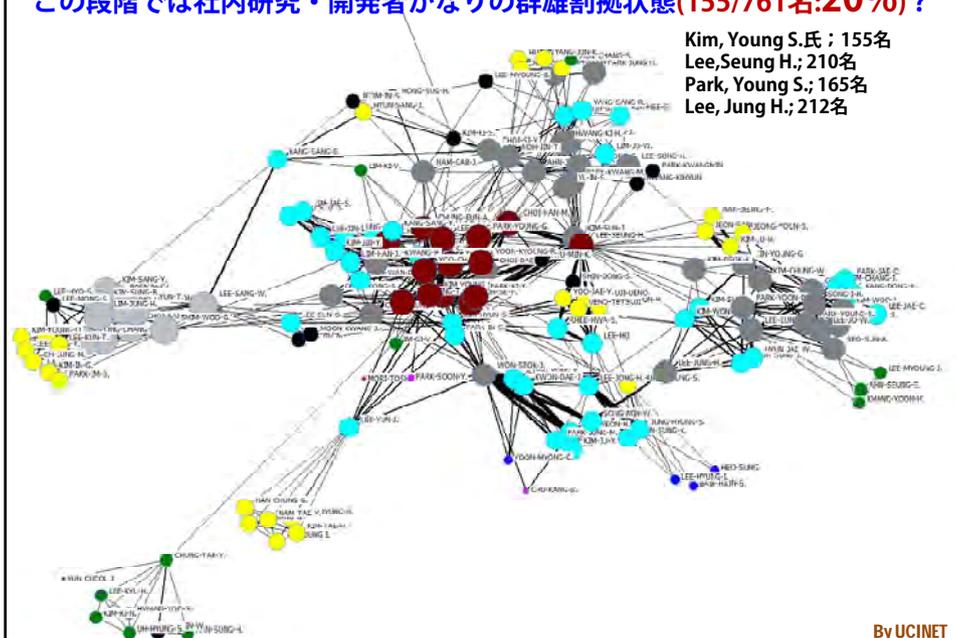




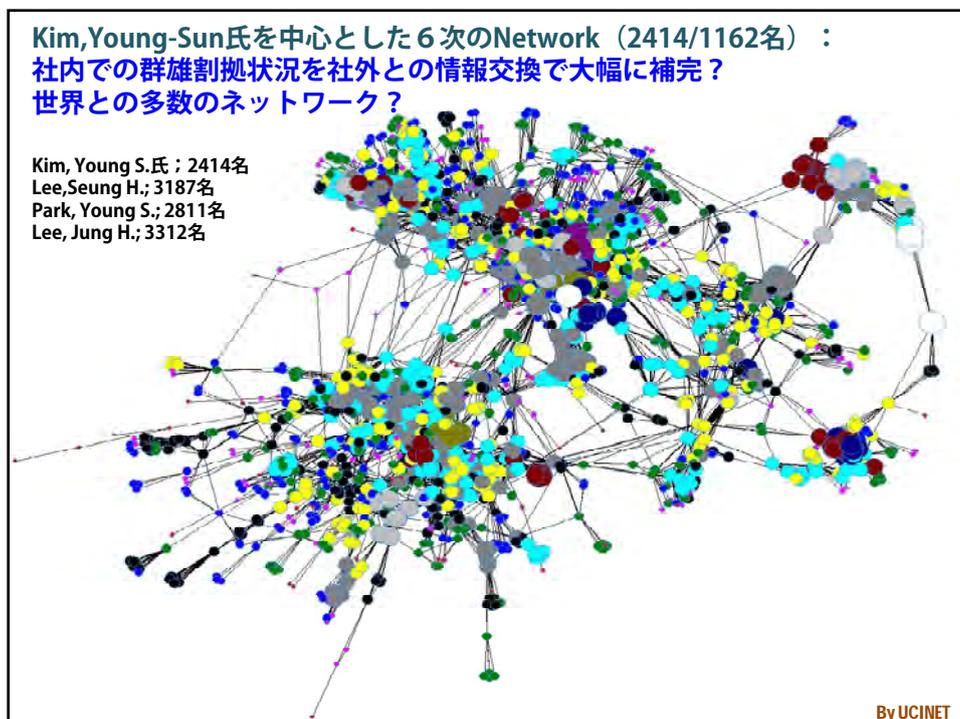
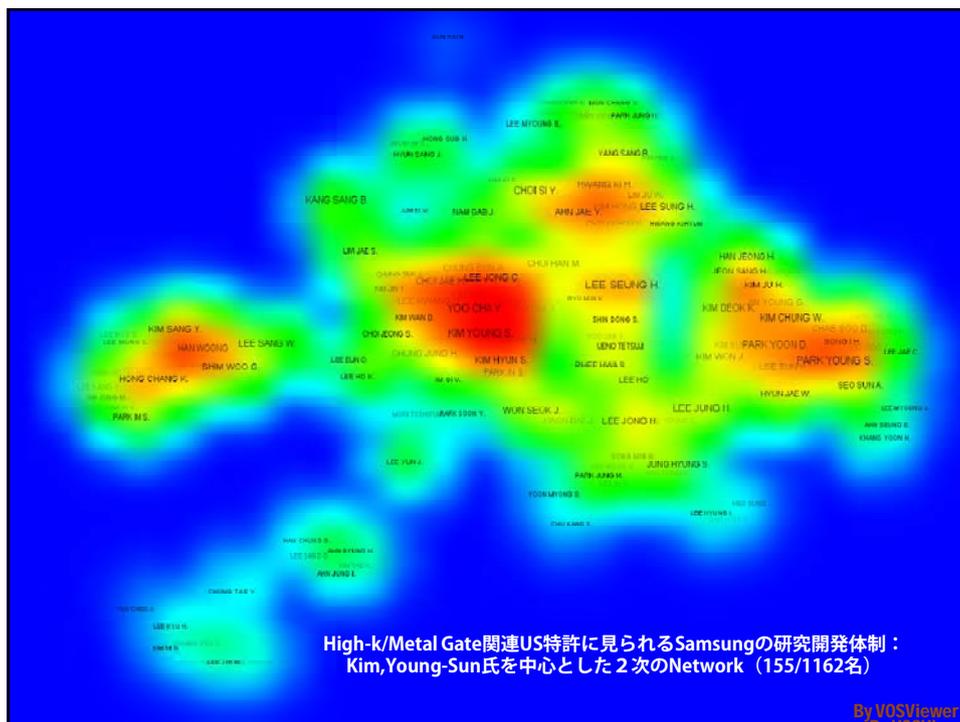
Samsung

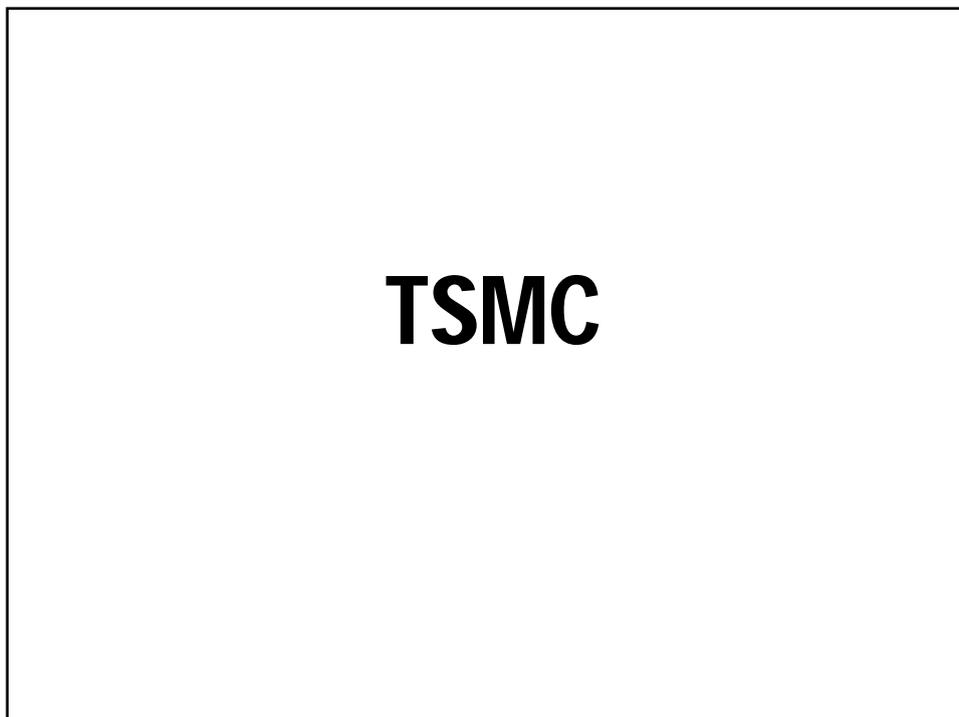
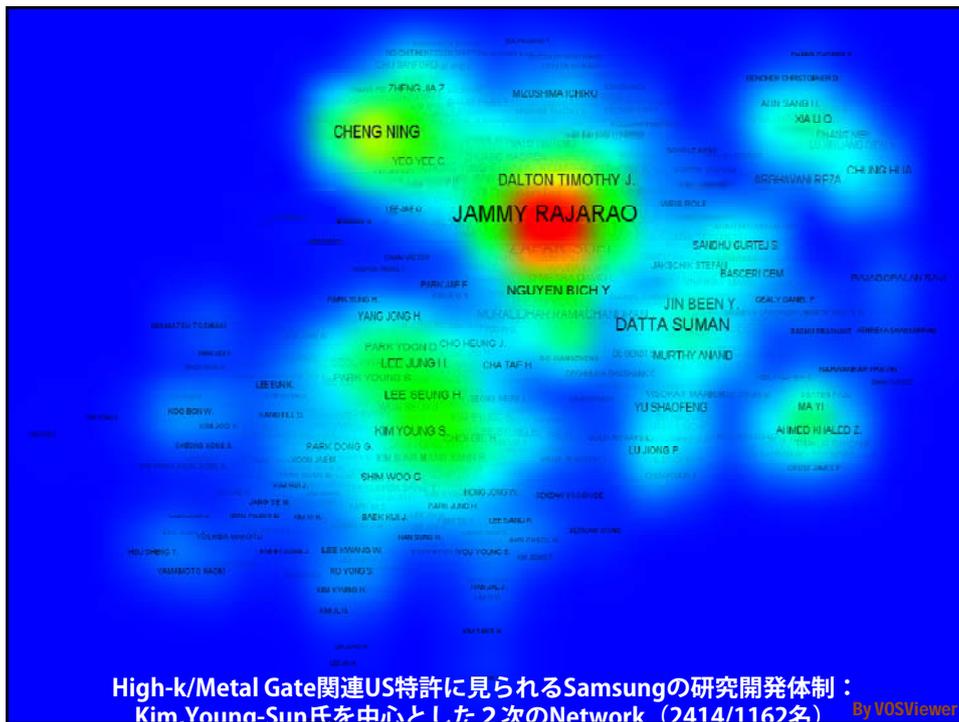
Kim, Young-Sun氏を中心とした2次のNetwork (155/11622名) :
 この段階では社内研究・開発者かなりの群雄割拠状態(155/761名:20%) ?

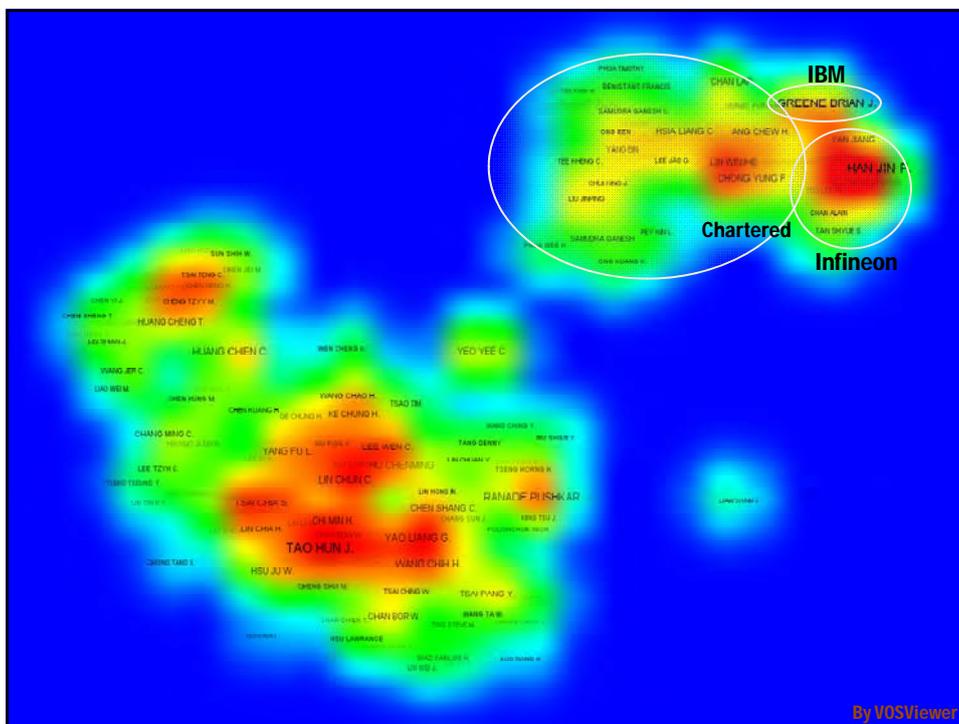
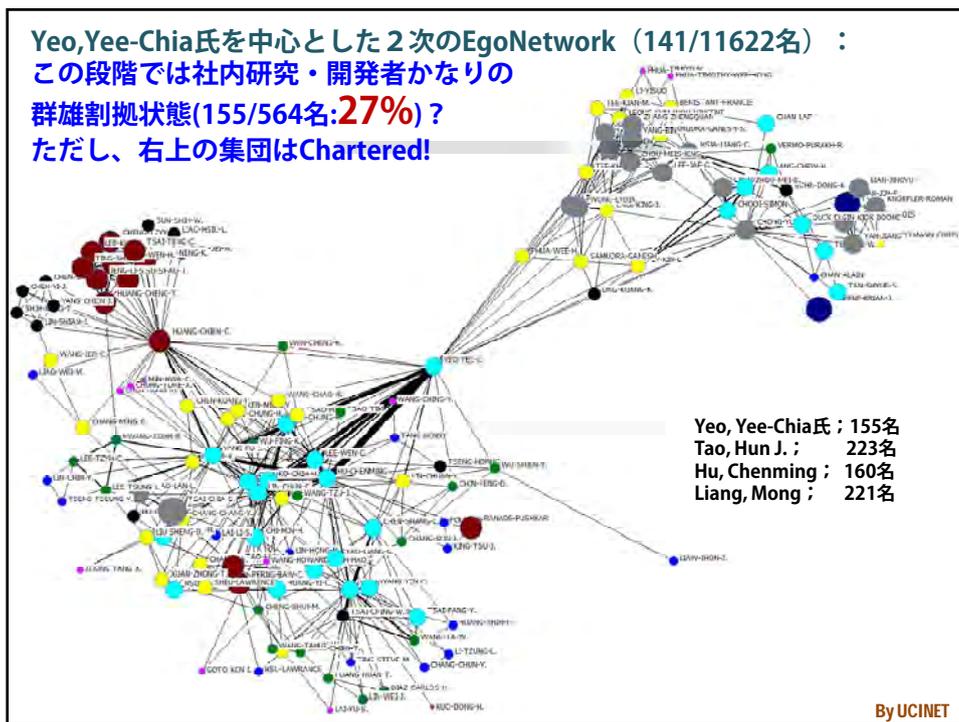
Kim, Young S.氏 : 155名
 Lee, Seung H.; 210名
 Park, Young S.; 165名
 Lee, Jung H.; 212名

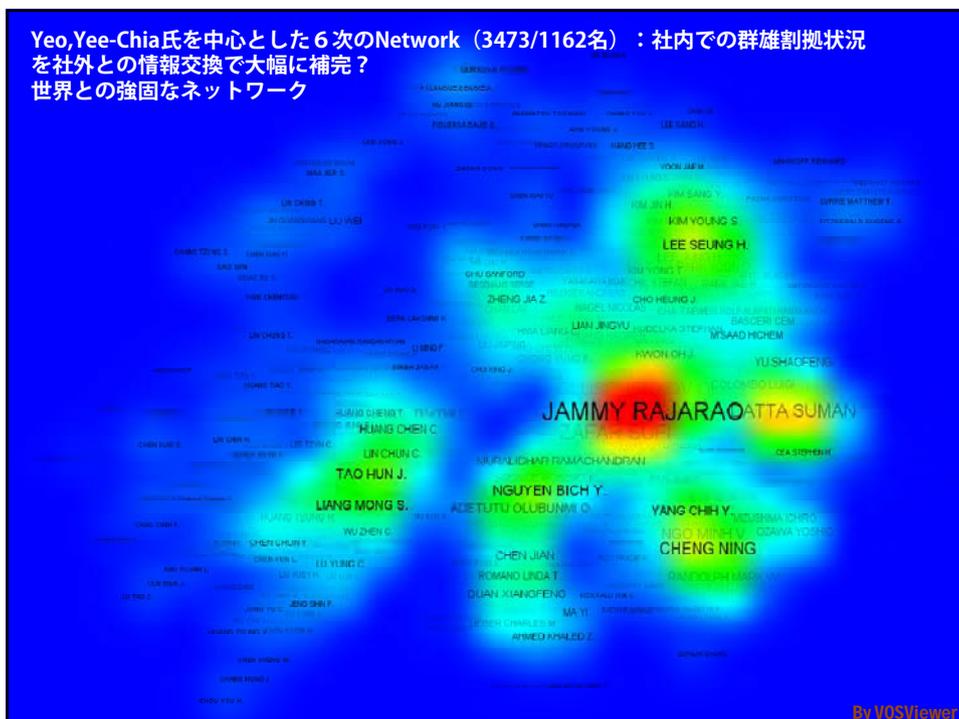
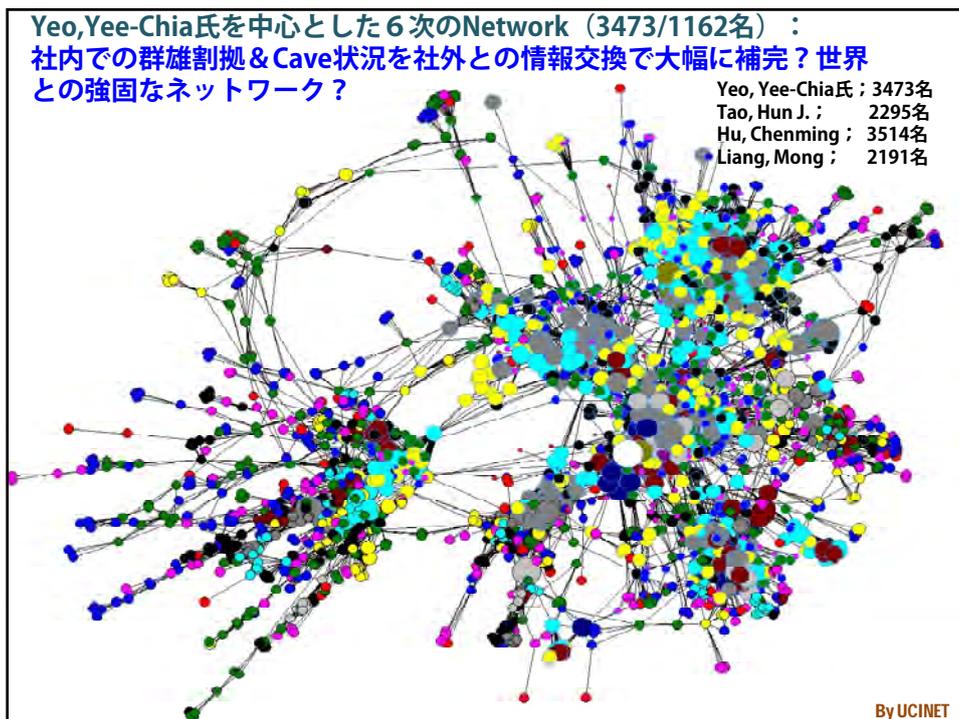


By UCINET









組織のModularityに大きな違い？

“Scale-Freeness”→情報の転送速度を規定？

“Small-World Property”→情報の応答速度を規定？



Modularityが高い=Scale-Free性 & Small-World性同時成立？

頻度 順位	IBM (865)	INTEL (304)	TSMC (564)	Samsung (761)	Toshiba (290)
1	90	227	56	28	38
2	88	176	53	21	35
3	66	165	43	20	33
4	62	151	37	18	31
5	58	150	37	18	28
6	58	118	33	18	27
7	52	111	33	17	26
8	50	67	29	17	22
9	44	37	28	16	21
10	43	35	26	16	19
11	41	29	24	16	19
12	38	25	24	15	18
13	38	20	24	15	17
14	37	20	22	14	17
15	37	19	21	14	17
16	36	18	19	14	16
17	35	17	16	13	16
18	35	17	15	13	16
19	32	16	15	13	15
20	31	15	14	13	12
21	31	15	14	13	12
22	31	15	13	13	10
23	31	15	12	12	10

●共願件数のトップ20

()内は各社研究開発者数

→Intelの上位7名は3桁

Intelの人員投入数は東芝と
ほぼ同数！

→インテルのベキ乗分布特
性(スケールフリー性)顕著

→同じ現象が次数(自分と
の異なった共願者数)分布
にも妥当

→社内での情報伝達速度が、
他社に比べて相当に早い？

スケールフリー性：ここでは、特に、
ネットワークの複雑性が増大しても
(研究開発者間で) 情報転送速度が
落ちないという点が重要だと思われ
る。

Made by Chuma

		各社の次数Top30 (Non-Dichotomized Graph)				
インテルの場合	順位	INTEL	IBM	Toshiba	Samsung	TSMC
	1	1097	392	88	90	145
	2	943	314	84	85	136
	3	891	312	83	82	132
	4	865	259	75	82	130
	5	821	252	69	79	114
	6	689	228	67	79	108
	7	525	224	67	79	89
	8	364	195	66	77	84
	9	178	190	62	76	82
	10	148	170	59	69	80
	11	118	157	59	63	78
	12	104	155	56	60	77
	13	101	152	54	59	75
	14	95	147	47	58	62
	15	93	140	40	58	61
	16	74	140	40	58	52
	17	64	135	36	58	47
	18	55	130	36	58	46
	19	51	127	36	57	46
	20	49	126	36	56	46
	21	49	122	36	56	44
	22	43	122	33	55	41
	23	43	118	30	55	40
	24	41	118	28	54	38
	25	41	116	28	53	38
	26	38	114	27	53	35
	27	38	113	27	50	33
	28	38	111	26	49	32
	29	36	110	25	48	31
	30	36	110	24	47	30

ここでの次数は、発明者名間を繋ぐ配線の太さが、共願回数によって明示されているため、通常の0-1データで示されたグラフ上の次数とは異なることに注意されたい。
(下記は、通常のグラフの場合)

		各社の次数Top30 (Dichotomized Graph)			
順位		INTEL	IBM	Toshiba	Samsung
1		94	97	28	34
2		75	89	25	31
3		70	80	24	30
4		68	79	23	29
5		64	74	22	29
6		58	70	19	29
7		55	63	19	28
8		28	63	18	28
9		28	62	17	28
10		28	61	16	27
11		25	61	15	27
12		22	55	15	26
13		22	53	15	25
14		21	53	14	24
15		20	51	14	24
16		20	50	13	24
17		19	48	13	23
18		19	45	12	23
19		17	45	12	21
20		17	44	12	21
21		17	44	12	21
22		16	43	12	21
23		15	43	12	21
24		15	42	11	21
25		15	41	11	20
26		14	41	11	19
27		14	37	11	19
28		14	37	11	19
29		14	36	10	19
30		14	36	10	19

INTELに顕著な“Small World性”：各自は閉じた世界(蛸壺)にいるような印象を持っている(クラスター係数大きい)にもかかわらず、実際には世界が狭い(平均到達距離が短い)というネットワーク特性→形式知&暗黙知利用で情報応答速度も速い

各社のR&Dネットワーク特性一覧			
Non-Dichotomized Graph			
	Density	Average distance (among reachable pairs)	Overall graph clustering coefficient
(Actual)			
Intel	0.140	2.676	13.991
IBM	0.019	3.531	2.104
Toshiba	0.033	3.727	2.371
Samsung	0.015	5.812	1.627
TSMC	0.019	4.441	1.774
Dichotomized Graph			
	Density	Average distance (among reachable pairs)	Overall graph clustering coefficient
(Actual)			
Intel	0.029	2.676	0.835
IBM	0.009	3.531	0.794
Toshiba	0.015	3.727	0.811
Samsung	0.008	5.812	0.810
TSMC	0.011	4.441	0.812

不可欠なModularityによる 俊敏な組合せ複雑性実現？

ModularityのInnovation抑制 vs. 促進効果： 進化・発生生物学に学ぶ

<Innovation抑制効果>

- 徹底したムダ・ムラ・ムリ排除
- 極めて安定な基底状態(Ground State)に到達
- 頑健性&保守性発現！(“Structural Lock-in”状態出現)
- 大きな環境変化の時代に“Innovability”を阻害

<Innovation促進効果>

- 突然変異の悪弊局所化
- 旧来Innovation成果の再利用性増大
- 並列性による進化速度の加速、
- 冗長性(中立性)獲得による自然選択圧への自由度増大
- 組合せ複雑性による“Innovability”の増大

<二律背反状態打破の妙薬？>

- Module間におけるCommunication転送速度・反応速度の向上
- そのための部分と全体の関係の一目瞭然化？