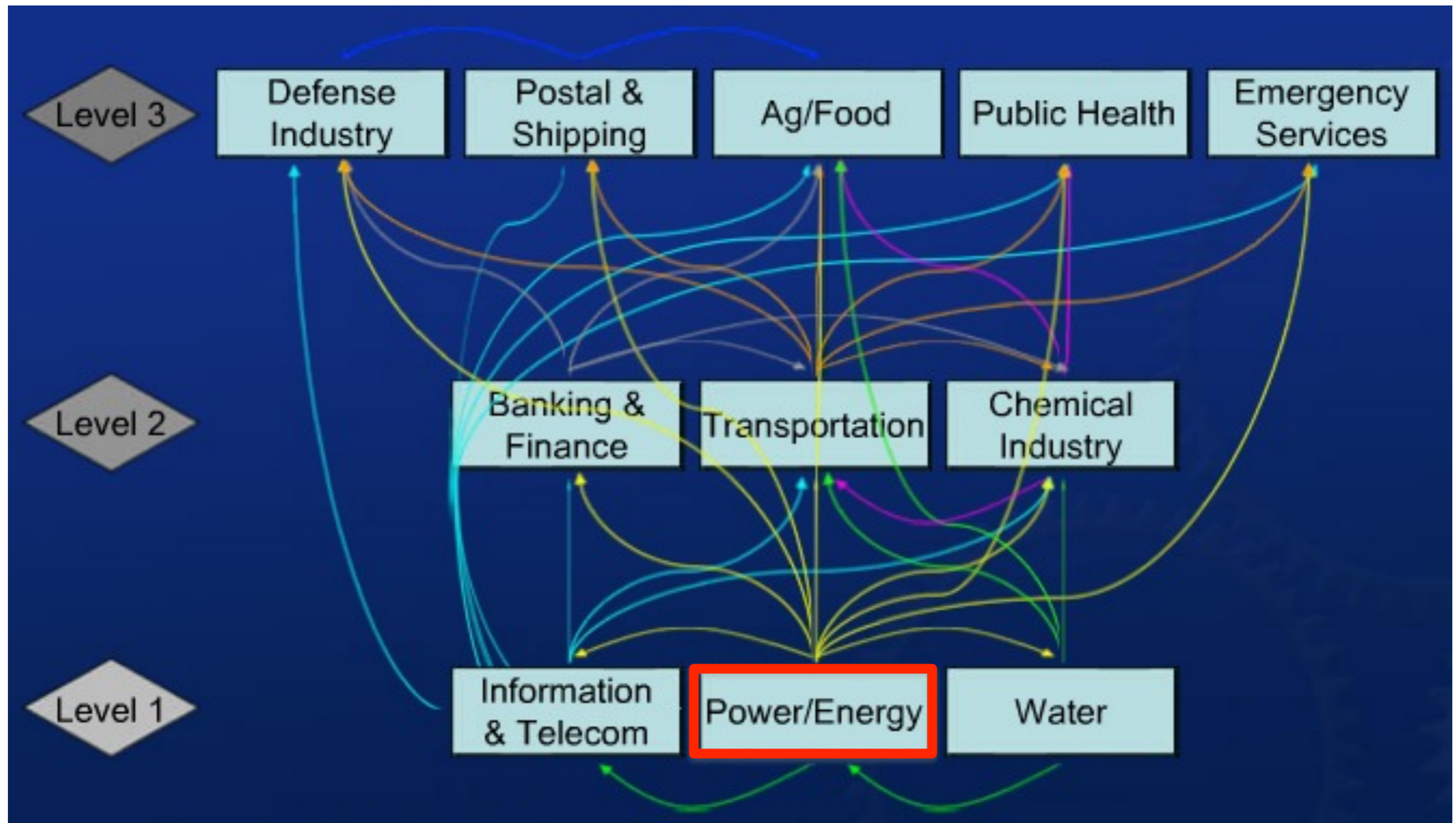


地球防災工学

2010年6月14日

CIP (3) 電力・エネルギー



電力

- **電力システム**

- **電力の発生～輸送～配分を行うシステム**

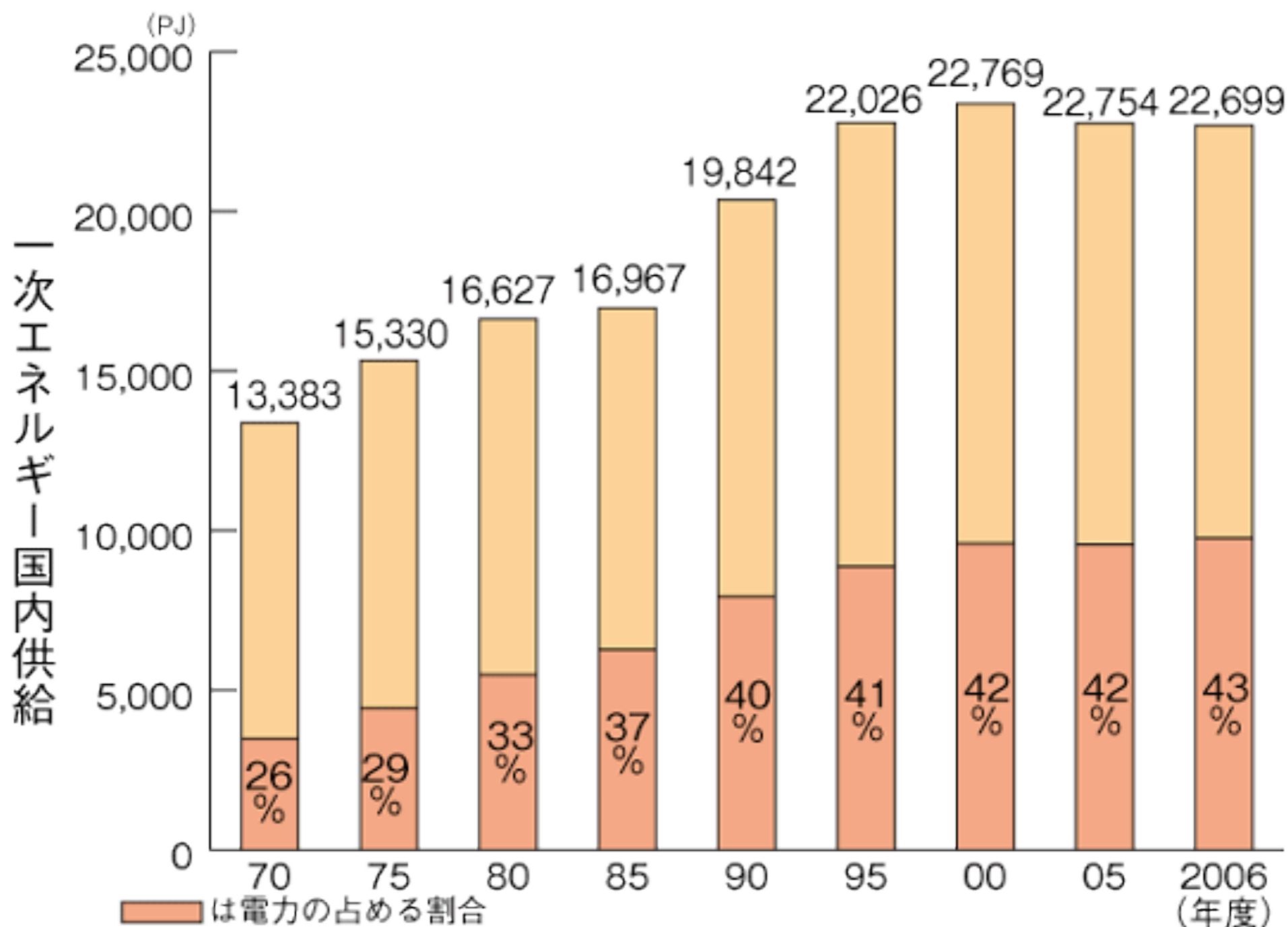
- **日本：1800以上の発電所・年間発電電力量1.03兆kWh**

- **アメリカ：2800の発電所・年間発電電力量3.72兆kWh**

- **常時莫大なエネルギーを取り扱う超巨大システム**

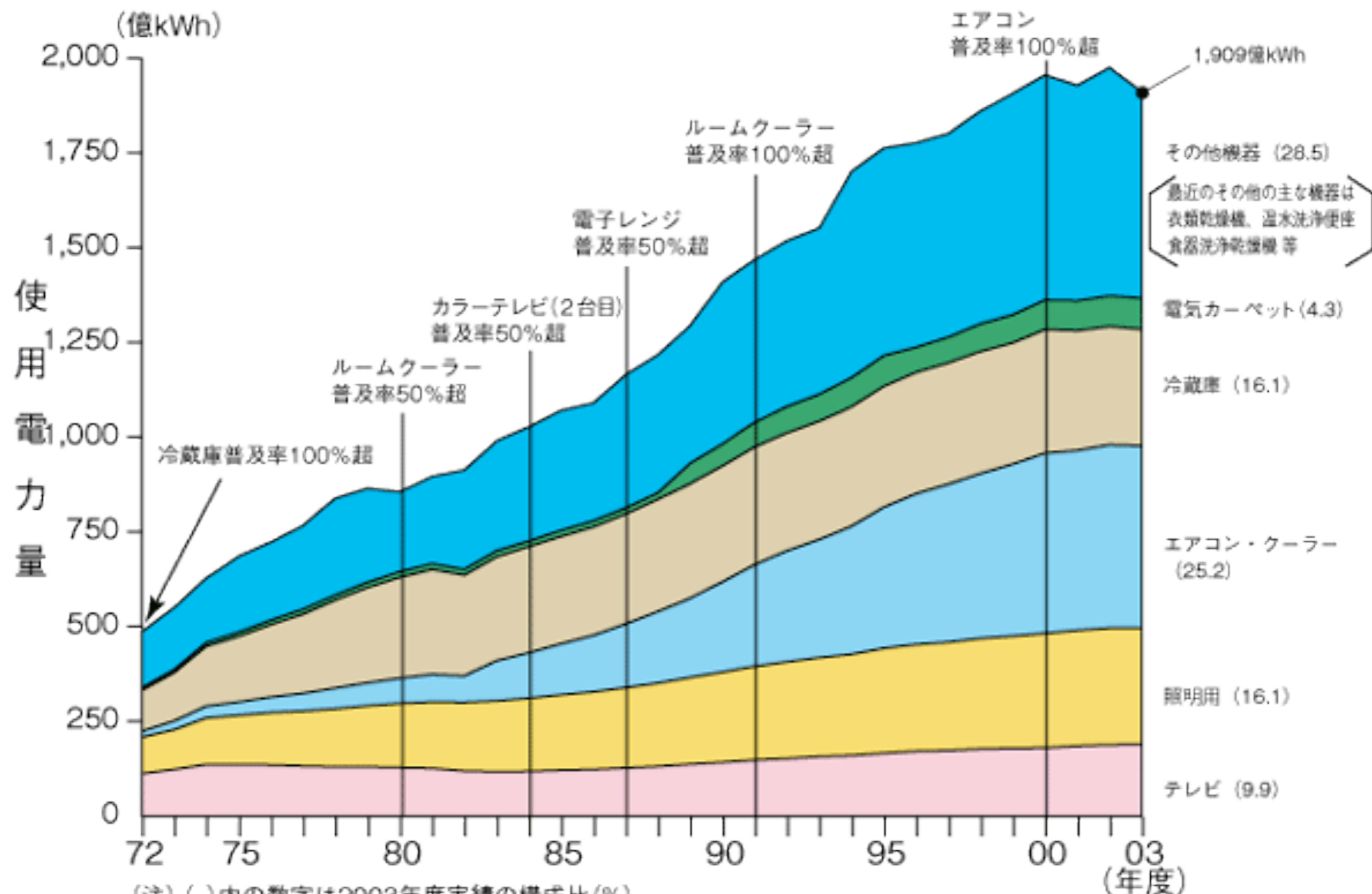
電力需要の推移

一次エネルギーに占める電力の比率(電力化率)



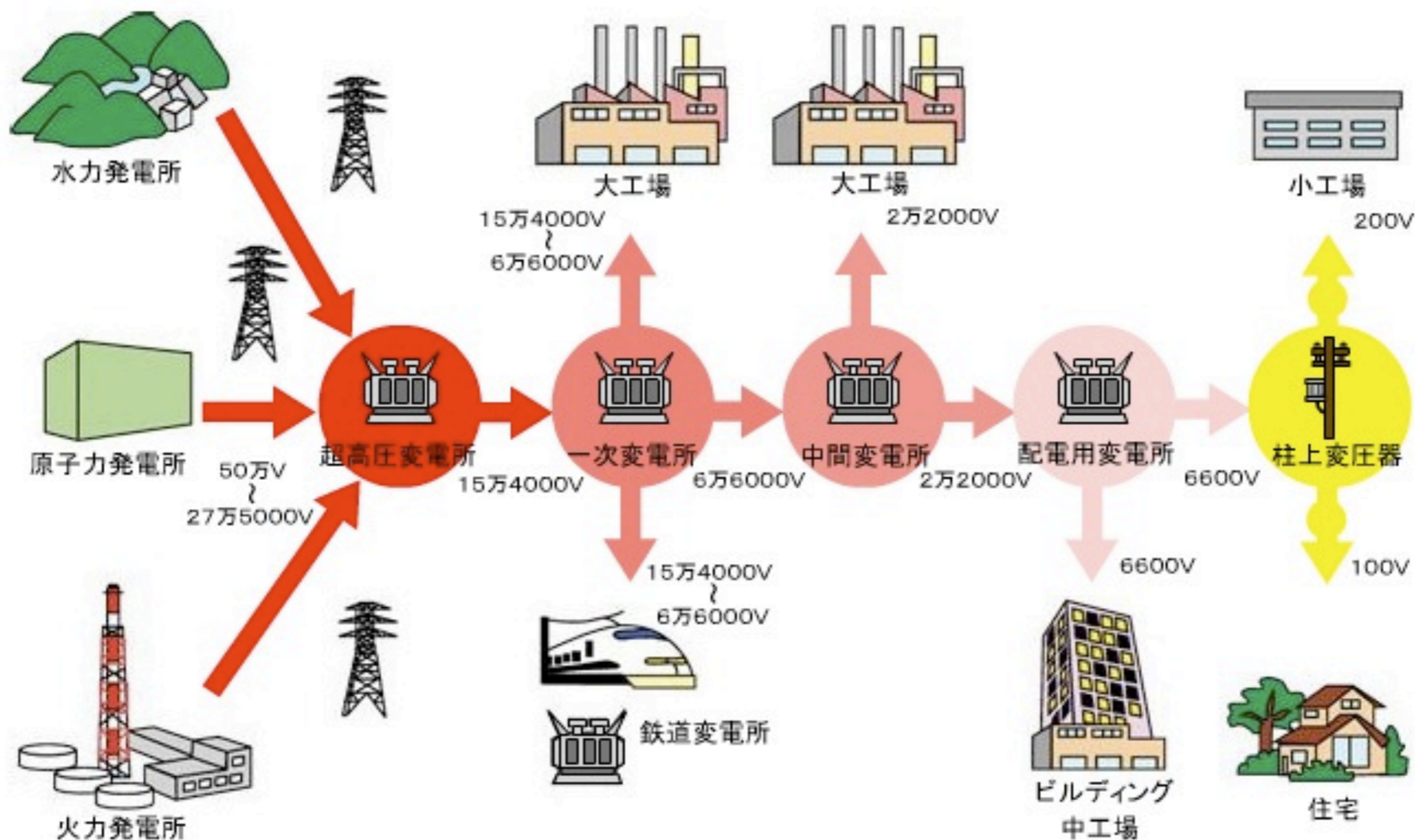
(注) 1PJ(=10¹⁶J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

家庭の電力消費



(注) ()内の数字は2003年度実績の構成比(%)
四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

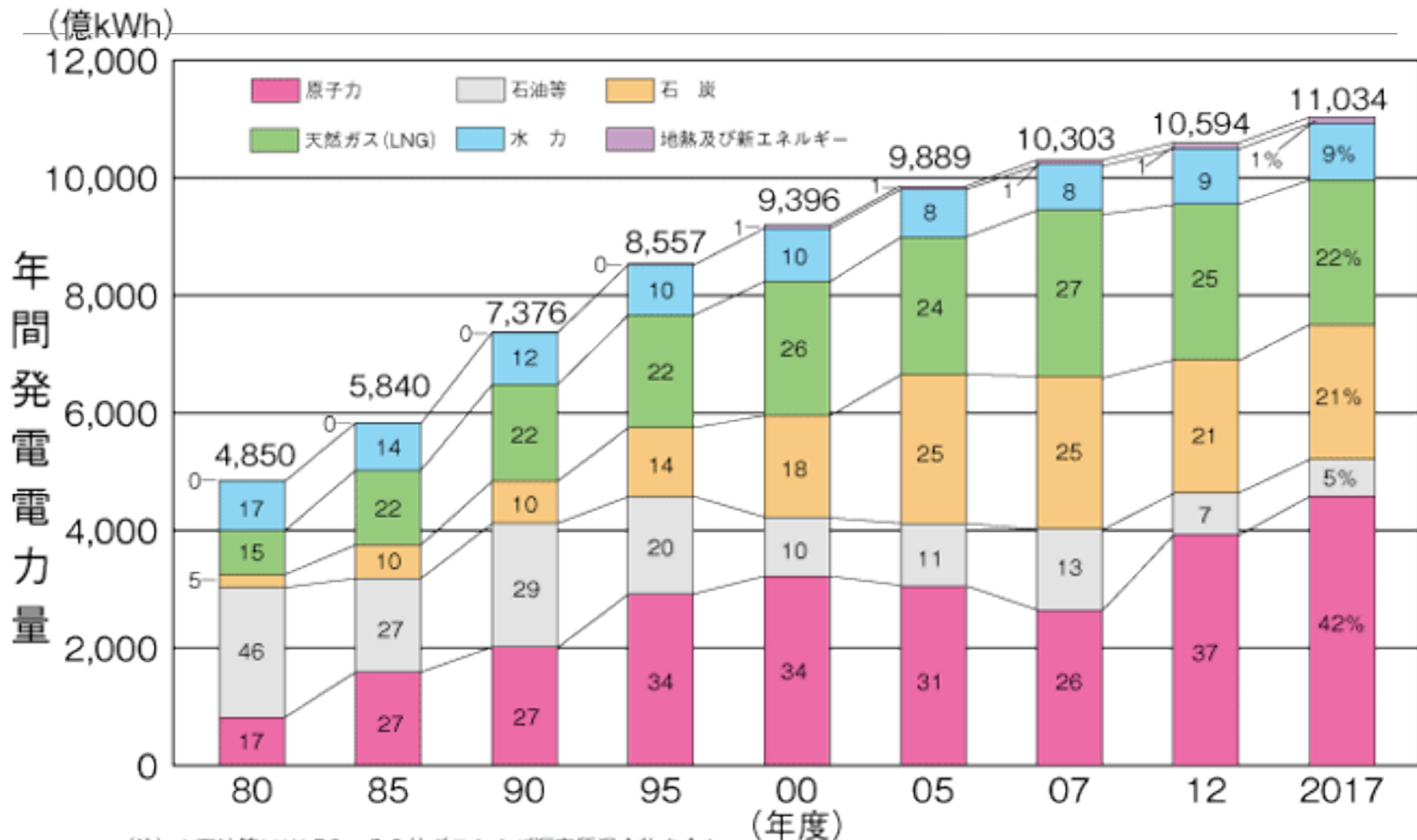
電力システム



日本の電力施設

- 発電所 **1,805力所**
- 架空送電線 **約15万km**
- 地中送電線 **約2万km**
- 送電塔 **約35万本**
- 変電所 **6,570力所**
- 架空配電線 **約390万km**
- 地中配電線 **約7万km**
- 電柱 **約2,000万本**

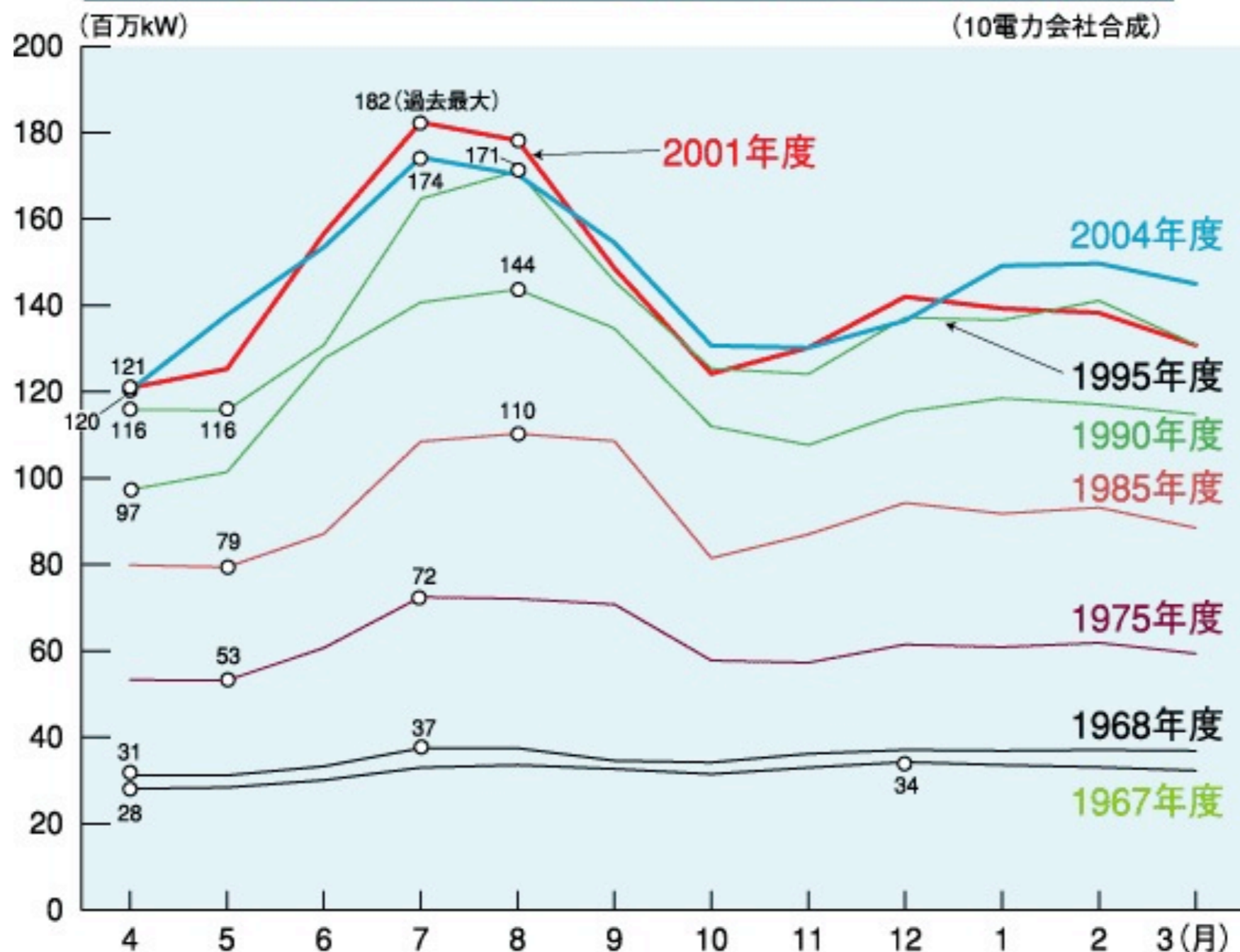
電源別発電電力量の実績および見通し



- (注) 1.石油等にはLPG、その他ガスおよび瀝青質混合物を含む。
 2.四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。
 3.発電電力量は10電力会社の合計値(受電を含む)
 4.グラフ内の数値は構成比(%)示す。

季節変動

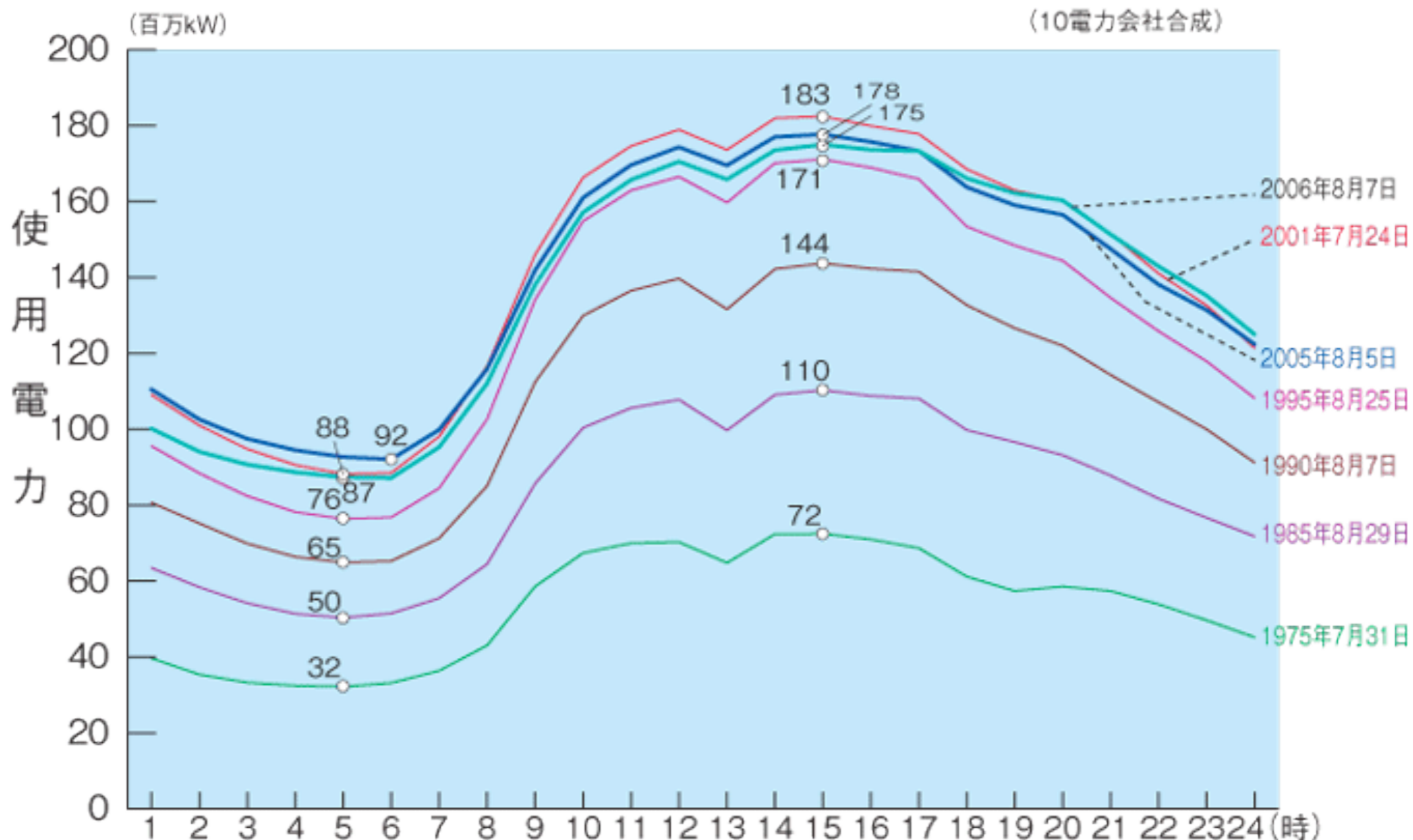
1年間の電気の使われ方の推移



(注) 1975年以前は9電力会社合成

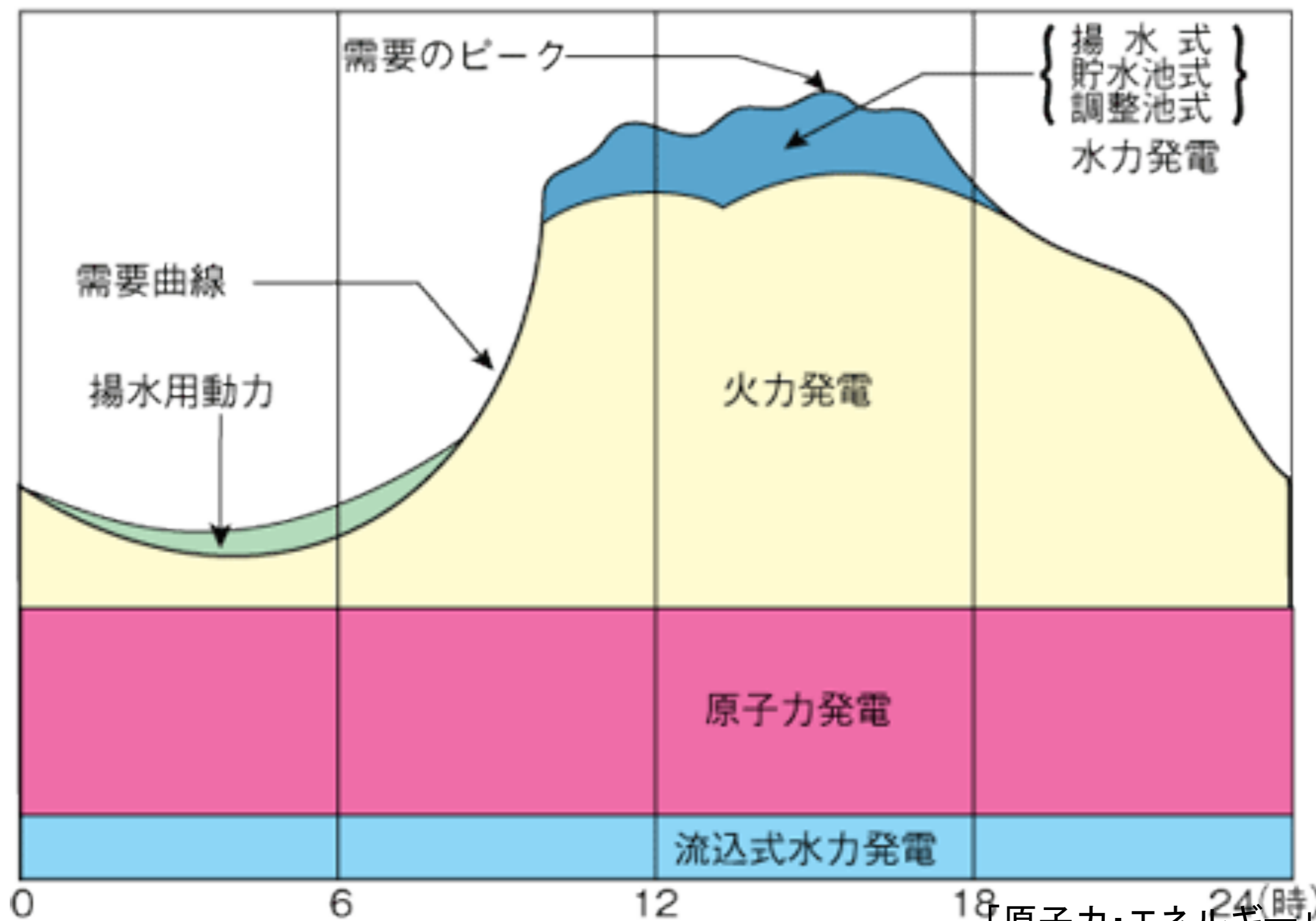
時間帯変動

真夏における1日の電気の使われ方の推移

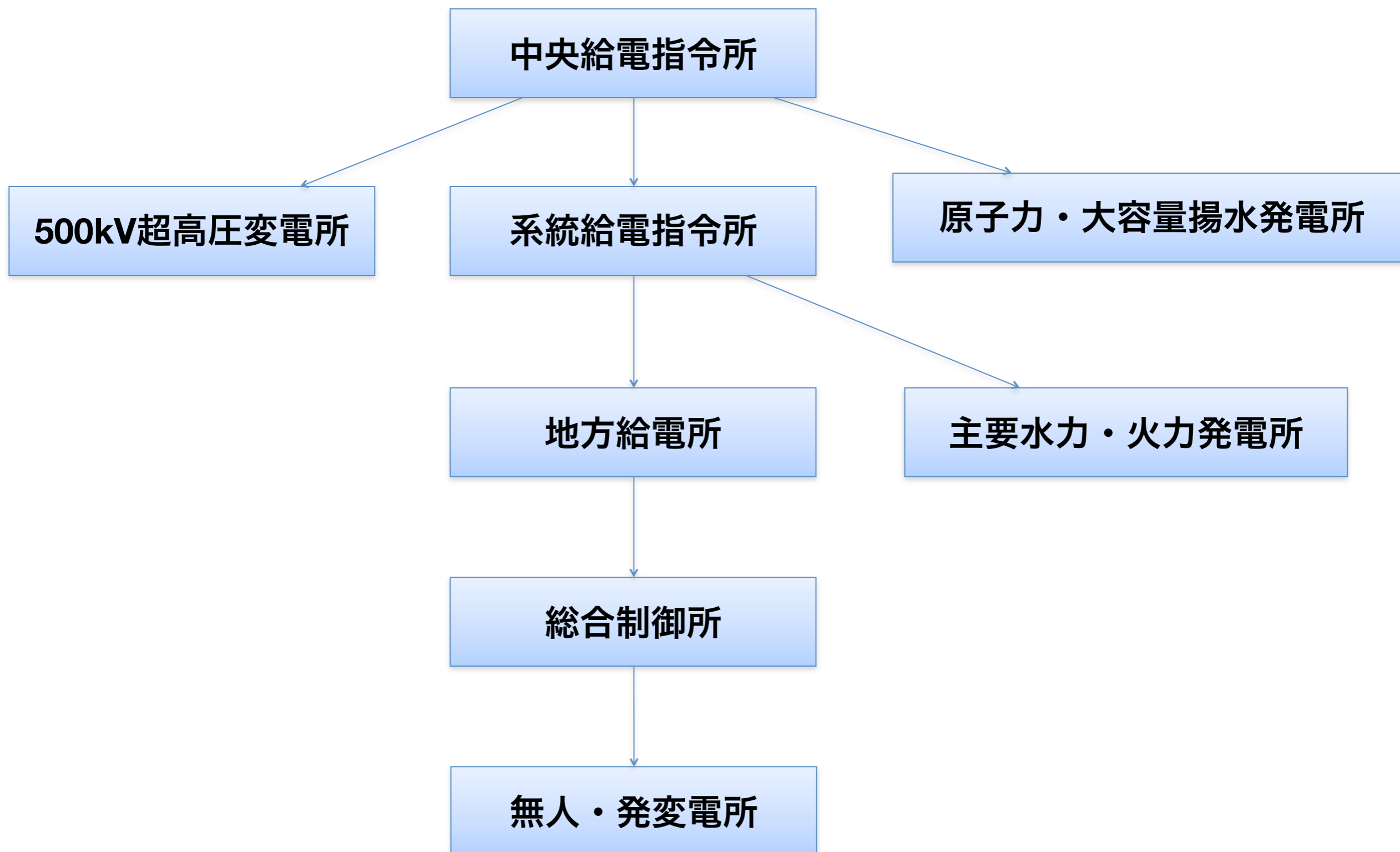


(注) 1975年のみ9電力会社合成

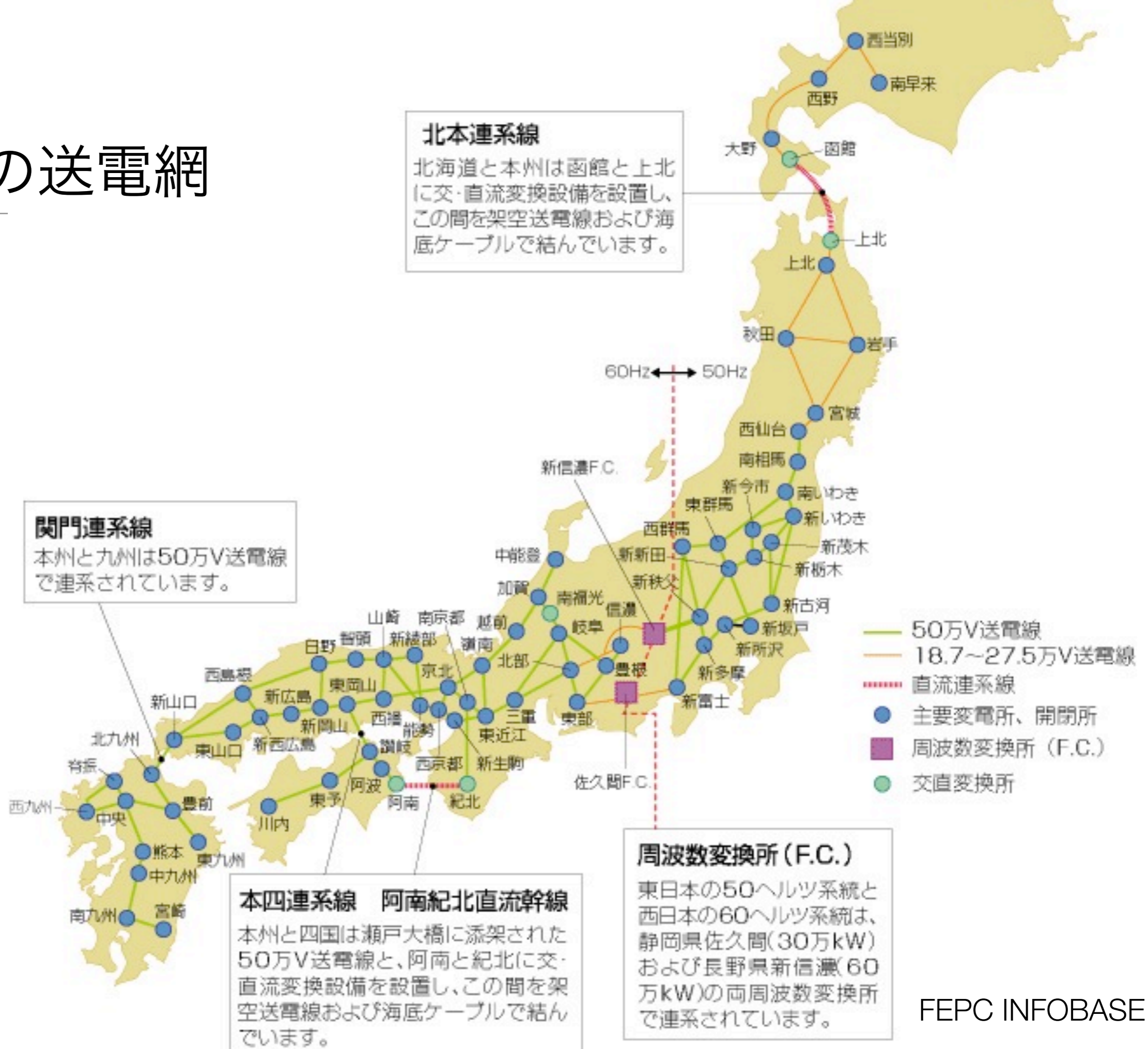
需要の変化に対応した電源の組合せ (ベストミックス)



給電システム



日本の送電網



エネルギー

- 熱・音・光・動力

- 日本：年間消費エネルギー 2万1800PJ (5.2億 石油換算トン)
6.06兆kWh

- アメリカ：年間消費エネルギー 10万5千PJ

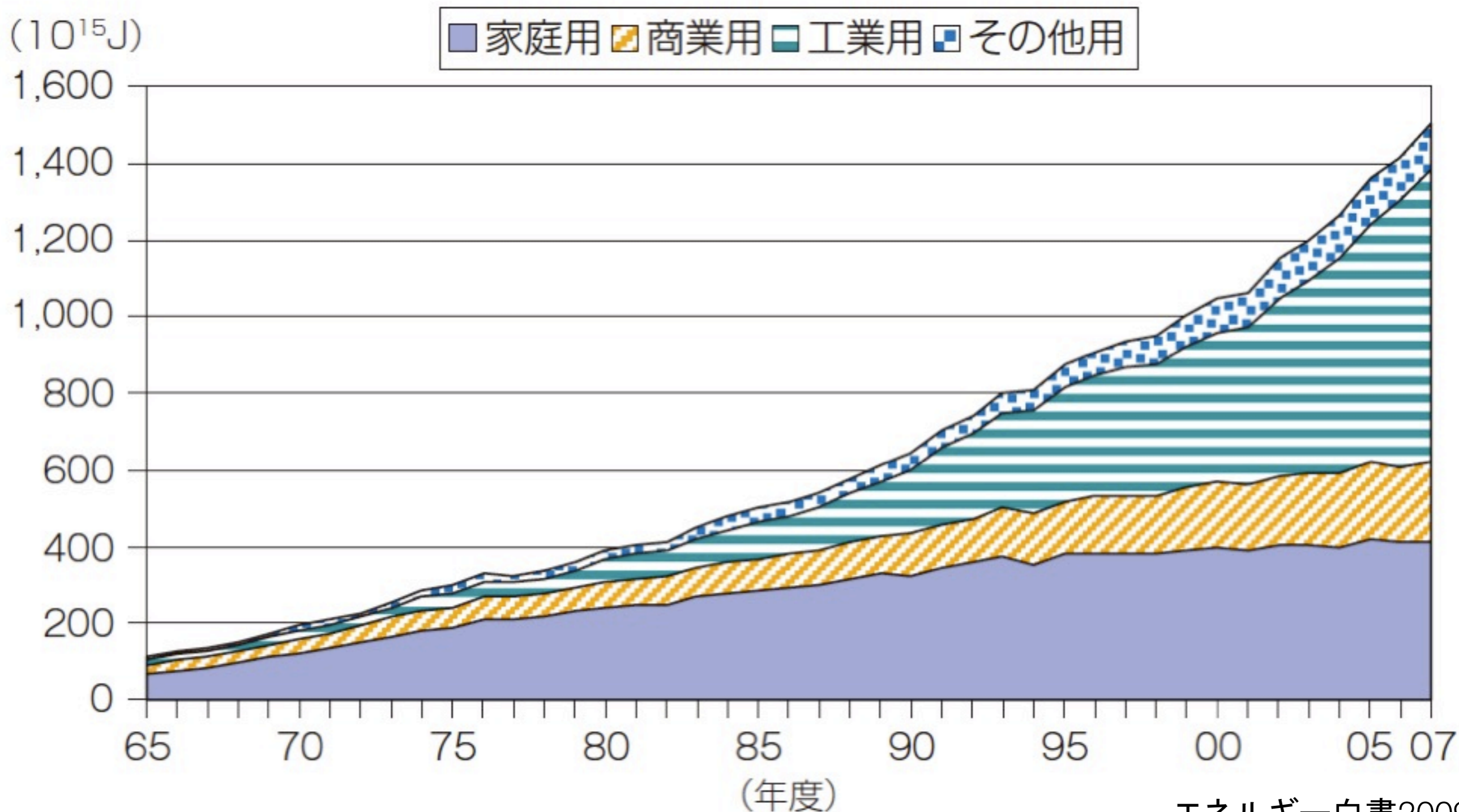
- 一次エネルギー

- 石油、石炭、天然ガス、ウラン、水力、太陽、地熱等

- 二次エネルギー

- 電気、都市ガス、石油製品 (ガソリン・LPG・軽油・灯油等)

都市ガス販売量の推移



天然ガス基地

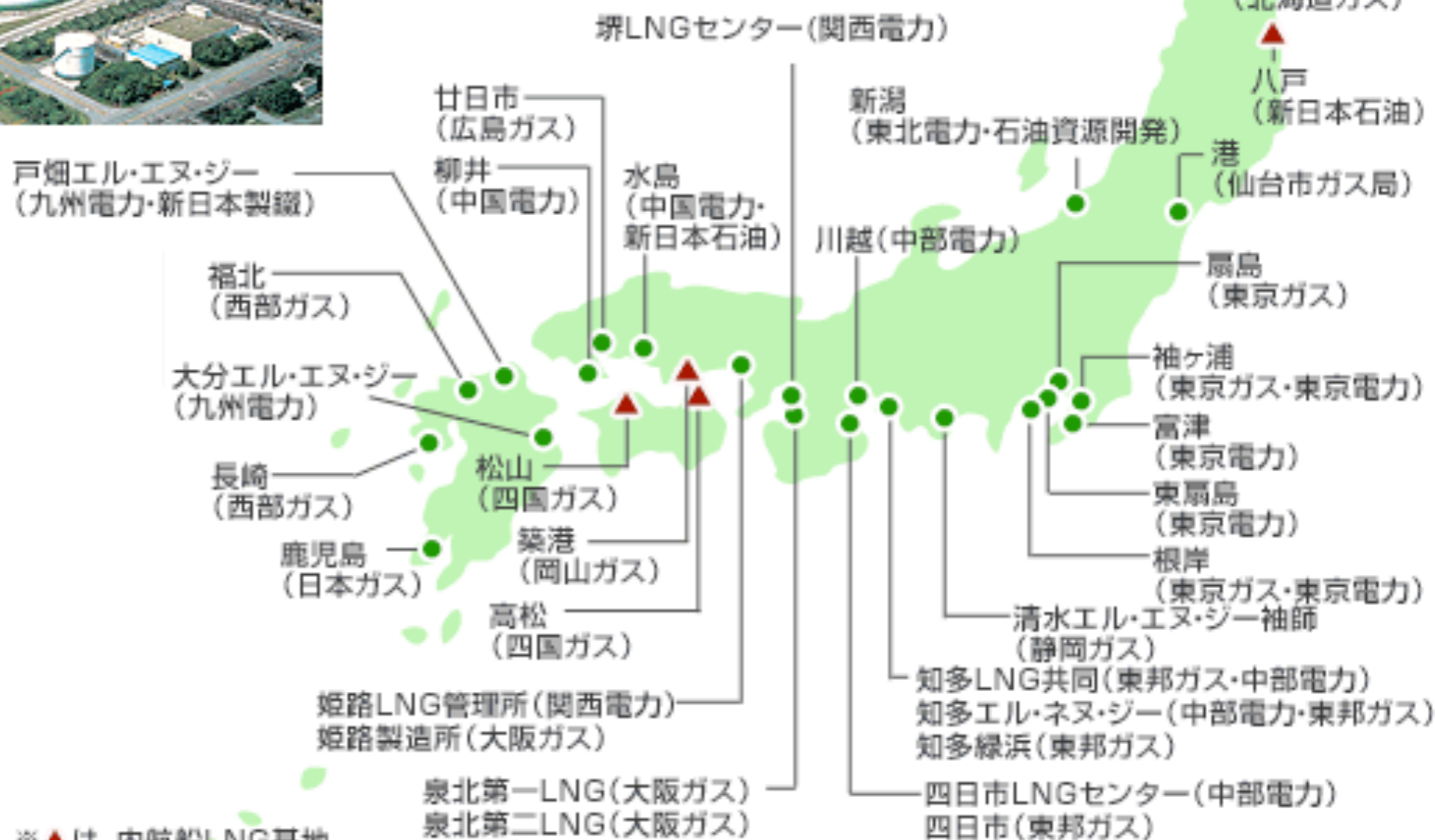


日本のLNG受入基地

(2008年11月末)

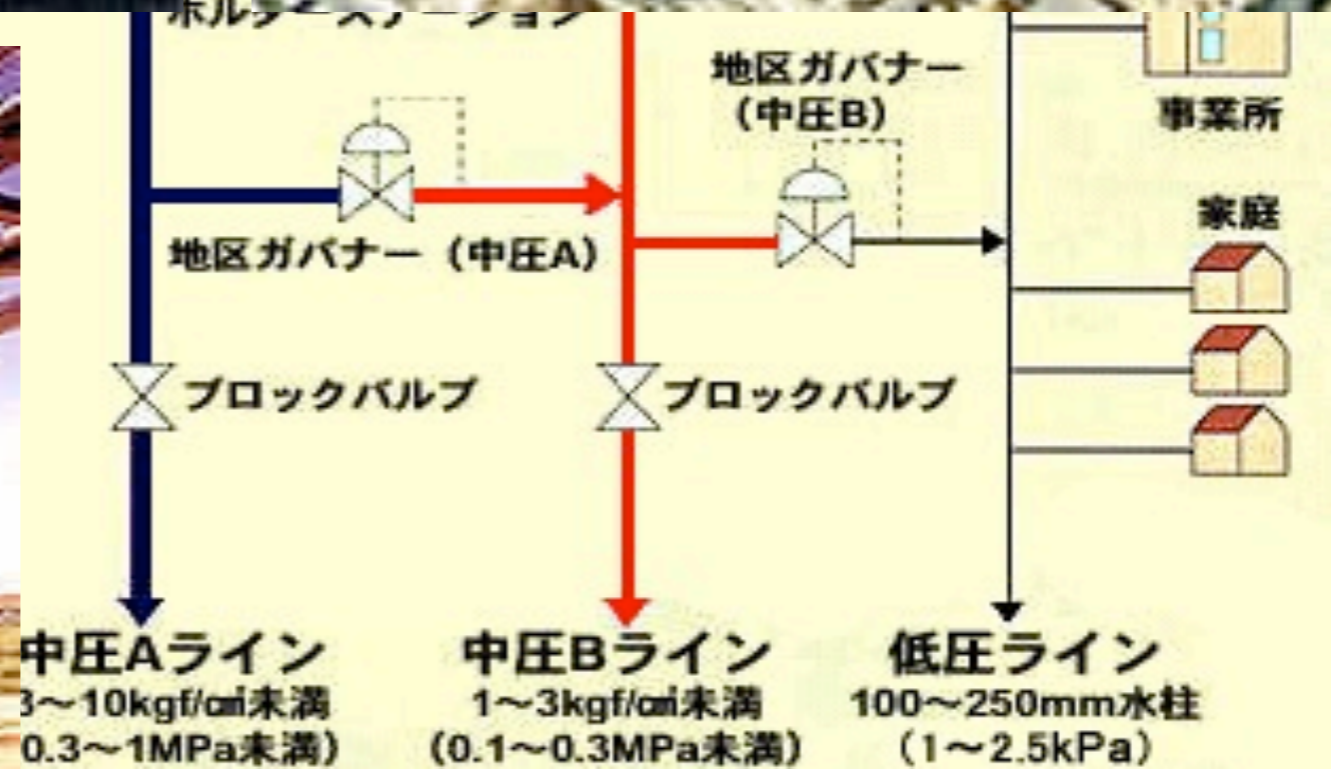
出典: ガス年鑑2008年度版

日本には27箇所のLNG受入基地があります。

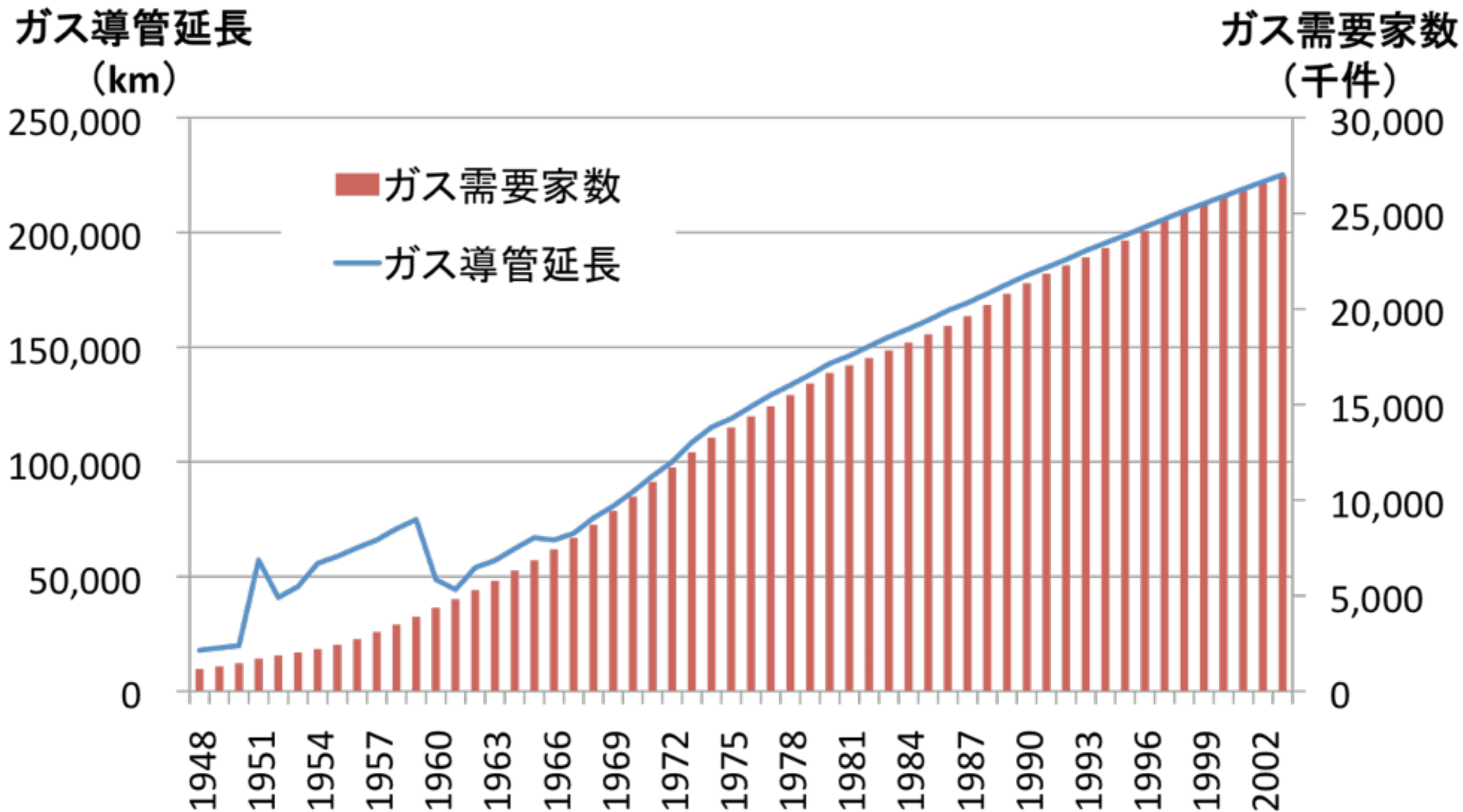


※▲は、内航船LNG基地

都市ガス供給ライン



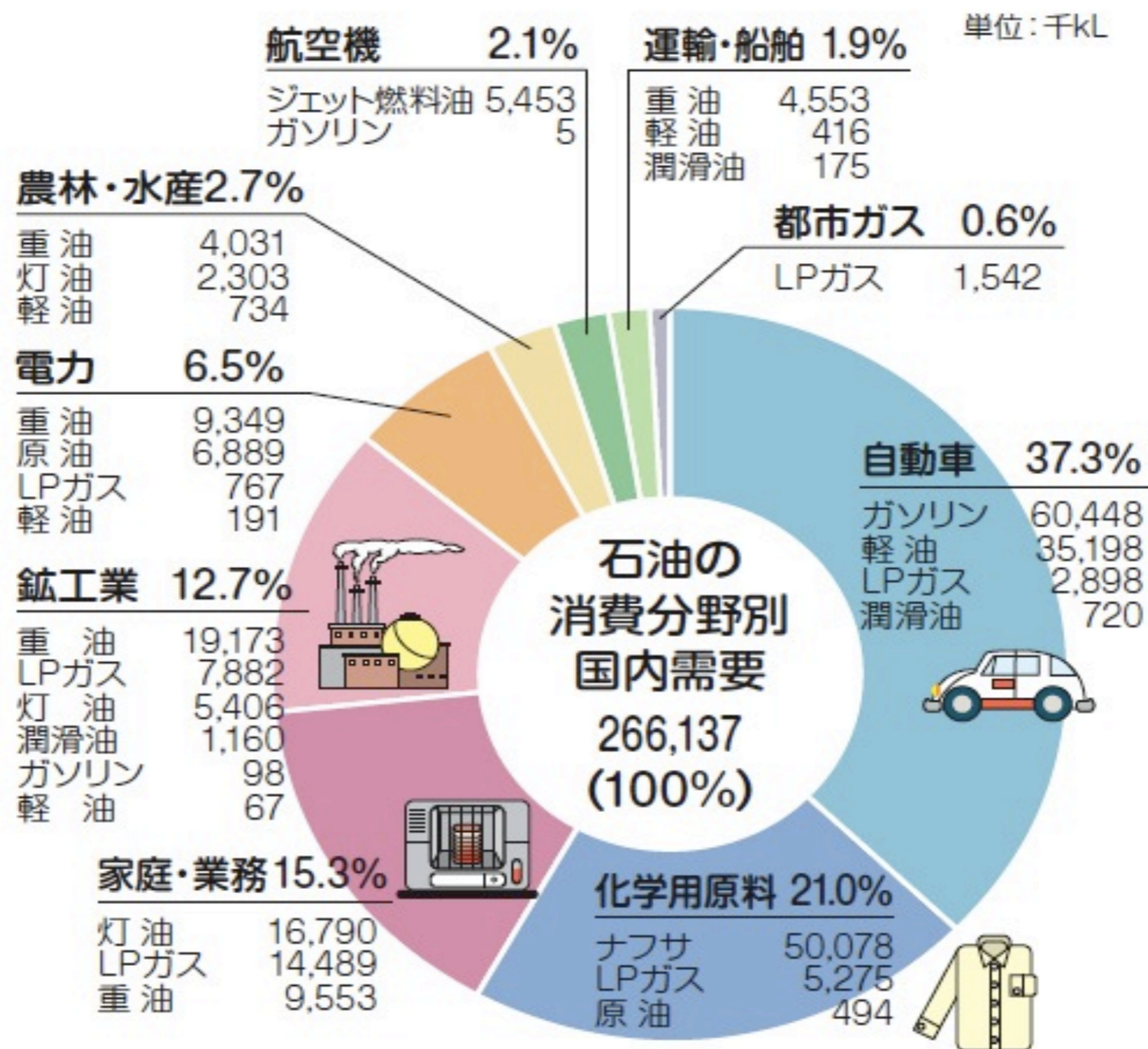
導管延長・需要家数の推移



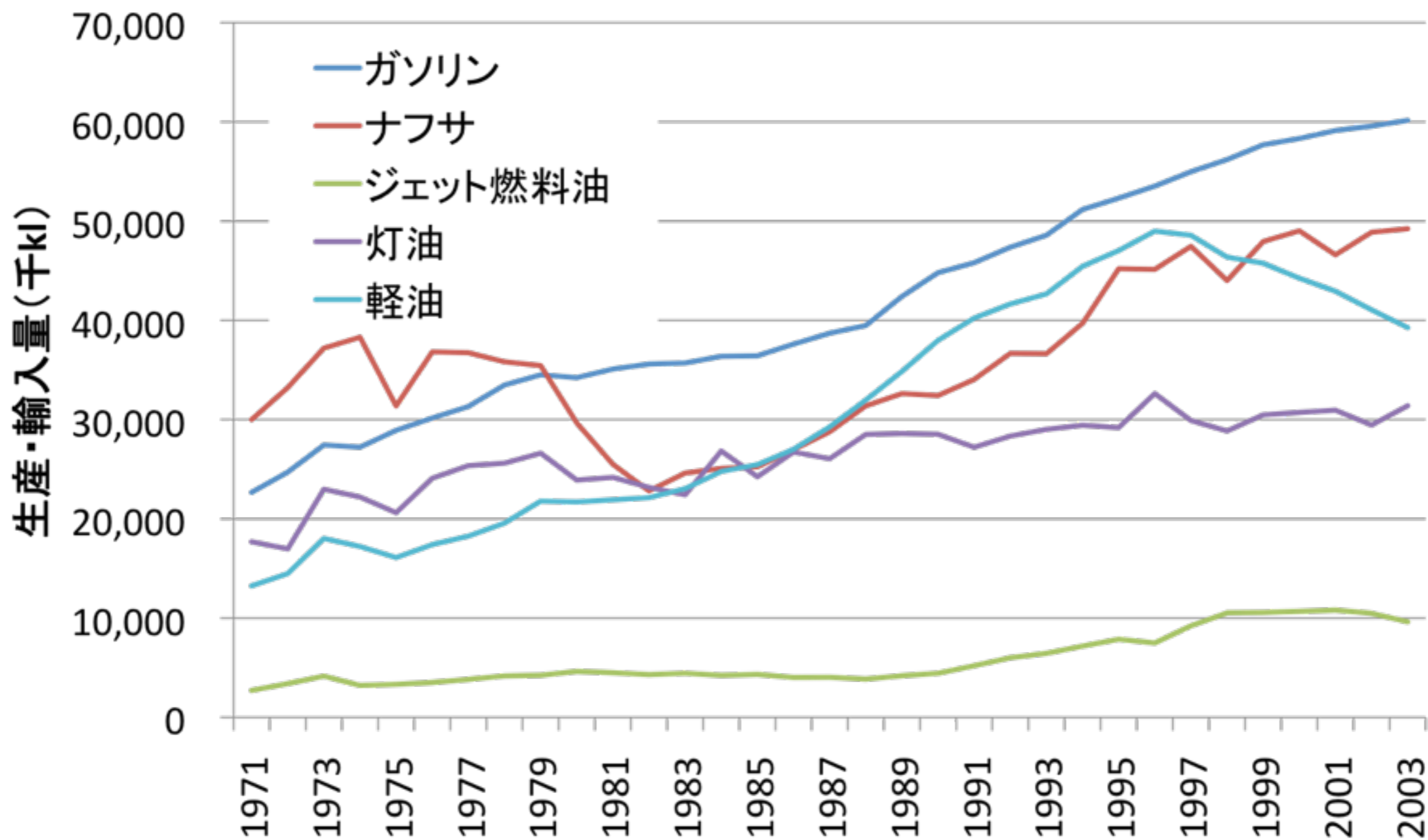
日本の都市ガス施設

- **天然ガス基地** 27カ所
- **高圧導管延長** 3000km
- **中圧導管延長** 28000km
- **低圧導管延長** 184000km

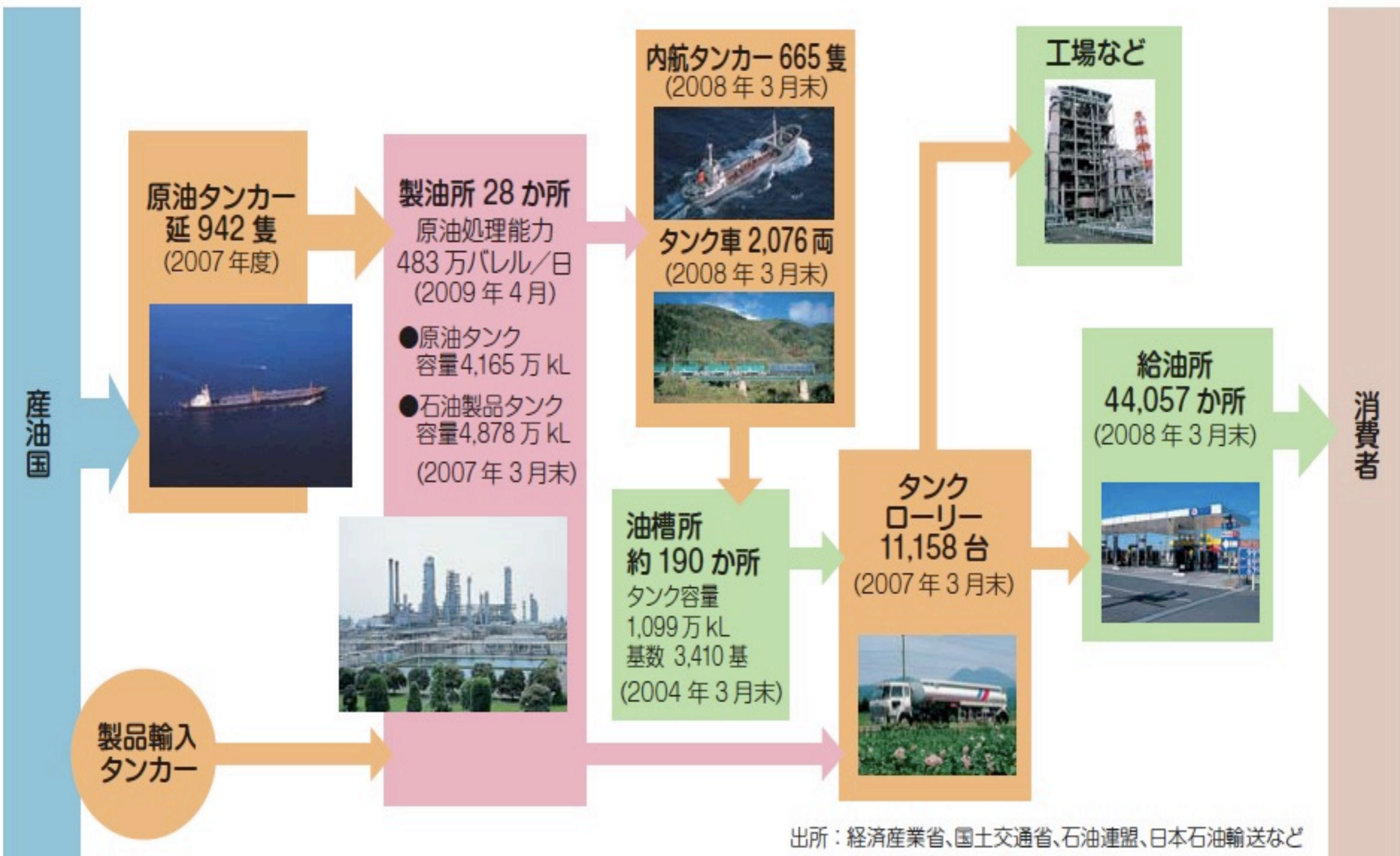
石油製品 用途別需要



燃料生産・輸入量



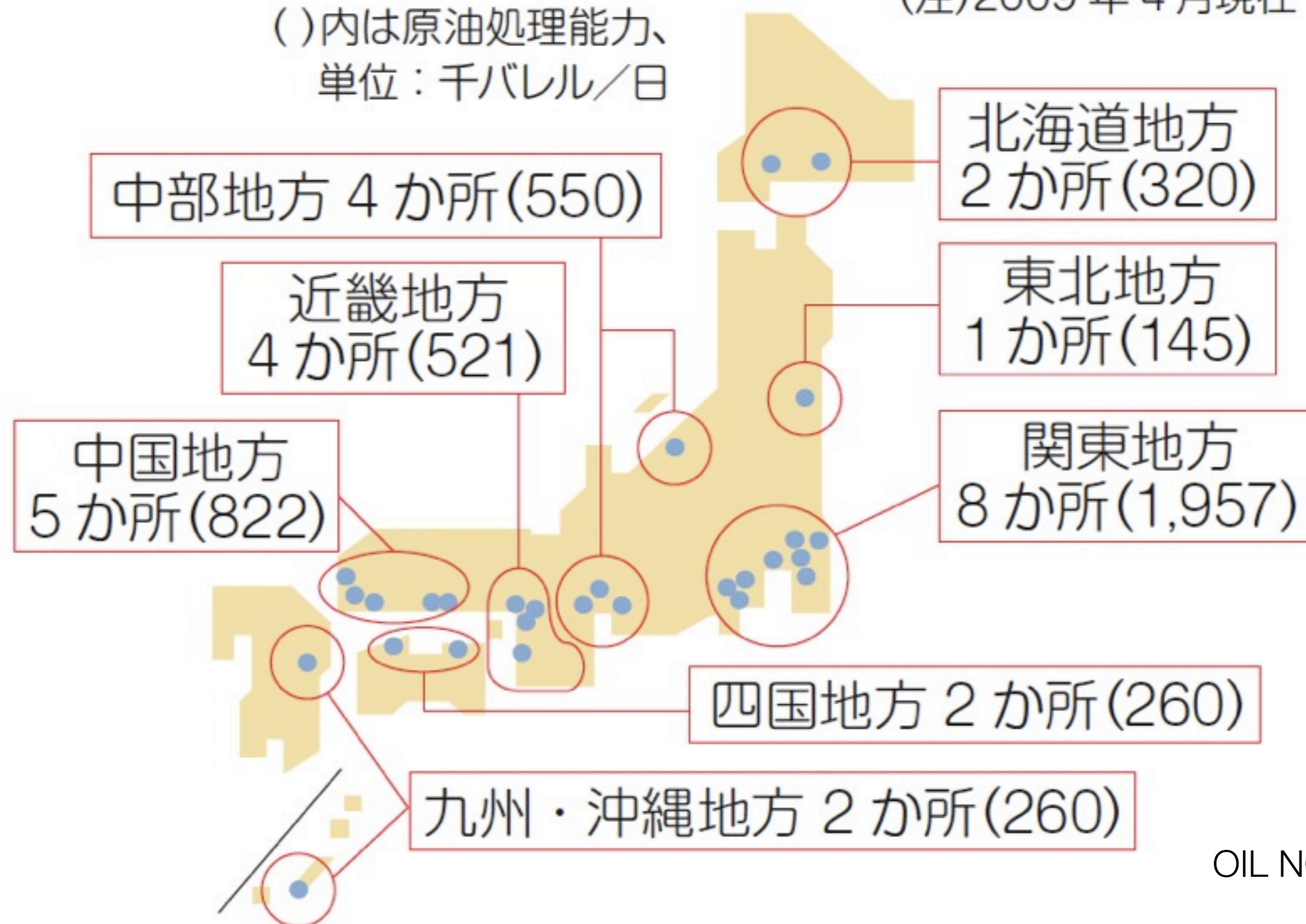
石油の供給システム



製油所の分布

出所：石油連盟資料より作成
(注)2009年4月現在

()内は原油処理能力、
単位：千バレル/日



エネルギーの輸入依存度

	石炭	石油	天然ガス	ウラン
輸入依存度 (%)	100.0	99.7	95.9	100.0



エネルギー資源の輸入経路

SHIPPING NOW 2008-2009

電力・エネルギー関係事故

- 1957 ウラル核惨事（旧ソ連） 放射性物質の大量貯蔵施設での爆発
- 1957 ウィンズケール火災事故（イギリス） 世界初の原子炉重大事故
- 1961 SL-1事故（アメリカ） 世界初の炉心溶融
- 1963 三井三池炭鉱爆発事故（福岡） 戦後最大の炭鉱事故、死者458
- 1965 ヘイムバード号火災炎上事故（北海道） 原油流出炎上
- 1965 御母衣事故（関西）
- 1966 エンリコ・フェルミ1号炉（アメリカ） 高速増殖試験炉の炉心溶融
- 1970 天六ガス爆発事故（大阪） 死者79, 重軽傷者420
- 1977 ニューヨーク大停電（アメリカ）
- 1978 東京電力福島第一原子力発電所3号機事故（福島） 日本初の臨界事故
- 1979 スリーマイル島原子力発電所事故（アメリカ） 炉心溶融

原子力事故・エネルギー関係事故・停電

- 1980 静岡駅前地下街爆発事故（静岡）死者15, 重軽傷者223
- 1982 シベリア横断ガスパイプライン大爆発（旧ソ連）
- 1986 チェルノブイリ原子力発電所事故（旧ソ連） 史上最悪の原子力事故
- 1987 首都圏大停電 電力需要が発電能力を超過
- 1988 ペプコン大爆発（アメリカ）
- 1997 動燃東海再処理施設アスファルト固化施設火災爆発事故（日本）
- 1997 ナホトカ号重油流出事故（日本海沿岸） 環境被害
- 1999 北陸電力志賀原子力発電所1号機事故（石川） 臨界事故・隠蔽
- 1999 東海村JCO核燃料加工施設臨界事故（茨城） 臨界事故・死者2
- 2006 首都圏大規模停電 クレーン船が送電線を切断
- 2010 メキシコ湾原油流出事故（アメリカ）

阪神・淡路大震災と電力

火力発電所	自動停止 12 (運転中8, 起動中4) 被害 21ヶ所中10ヶ所	埋立地盤の液状化により燃料タンク・タービン建屋等の基礎杭が破壊
架空送電線	被害 1,065線路中23線路	
地中送電線	被害 1,217線路中102線路	
変電所	被害 50ヶ所 停電 189ヶ所	
配電線	被害 12,109回線中649回線	
配電柱	被害 約11,000本	原因の80%が家屋の倒壊
通信設備	被害 4,048回線中76回線	

- 停電軒数：約260万軒，電力供給支障：283.6万kW
 - 火力発電所の停止により、176万kWの発電支障
 - 需要は1270万kW→940万kW (330万kWの降下)

緊急対応

- 電力需要の急低下により周波数の上昇が発生
 - 揚水発電所の運転を行って電力需給バランスを保つ
- 直ちに系統の切替送電を実施
 - (7:30) 停電変電所：80ヶ所、停電配電線：572回線
電力供給支障：124.5万kW， 停電軒数：約100万軒
- 給電所と制御所・変電所の間で周辺系統の復旧状況に基づいた復旧操作
 - (12:00) 停電変電所：13ヶ所， 停電配電線：476回線
電力供給支障：48.7万kW
- 復旧操作と並行して設備の復旧
 - (18日8:00) 停電変電所：0ヶ所 (20日) 停電軒数：約11万軒
- 通信設備が正常に機能

応急・復旧対応

- 官公庁施設、病院、避難所等への発電機車による応急送電
 - 被災地では軽油や特殊オイルが不足し、発電機車の燃料調達が課題
 - 工業用水の途絶による発電機の停止
- 技術系復旧要員は、1日最大6000人以上
 - 作業者のための水・食事・トイレ・宿泊場所の確保と健康管理
- 被災地全域への応急送電は6日後の23日午後3時に完了

電力被害の影響

- 電力の復旧に伴って電気機器が原因と見られる火災（通電火災）も発生
 - 地震による建物の被害や屋内の収容物散乱
 - スイッチの切り忘れの電化製品や屋内配線の損傷
 - 漏洩していたガス
- 電灯の明かり
 - 人間の活動を制限、心の不安
 - ライトアップ作戦：県警の呼びかけで防犯灯や街路灯を早期復旧
- カードが使えないカード公衆電話

過去の災害におけるガス被害

地震名	発生日時	マグニチュード	最大震度	供給停止件数	復旧日数
宮城県沖地震	1978. 6. 12	7. 4	5	約151, 000戸	28日間
日本海中部地震	1983. 5. 26	7. 7	5	約15, 000戸	30日間
千葉県東方沖地震	1987. 12. 17	6. 7	5	約4, 700戸	12日間
釧路沖地震	1993. 1. 15	7. 8	6	9, 391戸	23日間
北海道南西沖地震	1993. 7. 12	7. 8	5	1, 425戸	8日間
三陸はるか沖地震	1994. 12. 28	7. 5	6	約1, 500戸	5日間
兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	1995. 1. 17	7. 2	7	約859, 000戸	85日間

阪神・淡路大震災とガス被害

- 生産施設、高圧幹線には供給に支障を及ぼすような被害は発生しなかった
 - 大規模な供給施設が液状化地域に設置されていなかった
- 中圧導管（病院・斎場等の社会的に重要な施設へ直接供給している管路）
 - 106ヶ所で被害
 - 被害の大半は、導管に設置されたバルブ継手部分からの軽微な漏れ
 - 河川、水路、池の近傍の液状化発生地域、活断層付近
- 低圧導管
 - 26,459ヶ所で被害
 - 大半がねじ継手という耐震性の低い管種に集中
 - ポリエチレン管には全く被害はなかった

緊急対応

- 行政機関、テレビ・ラジオの情報、顧客の通報、さらにヘリコプターからの目視により、被害情報を収集
- ミドルブロック単位での供給停止
 - 11時50分：神戸2、3ブロック遮断（38.6万戸供給停止）
 - 16時30分：北大阪7ブロック遮断（10.3万戸）
 - 19時30分：神戸1ブロック遮断（22.0万戸）
 - 21時05分：神戸4ブロック遮断（12.4万戸）
 - 85万7,400戸の供給停止

二次災害

- 都市ガスの埋設管からのガス漏れによる一酸化炭素中毒
- 出火原因
- LPガス漏洩（神戸市東灘区、1月18日）
 - 約7万人に避難勧告
 - 住民への指示が十分行き渡らず、避難者が混乱
 - 避難所の不足
 - 予定していた救出活動の中止
 - 救急・外来患者の診療中止

ガス被害の影響

- ガス漏れによる爆発に対する不安
- 都市ガスの供給停止により、入院患者の食事提供に影響
- 調理用の燃料
- ごみ・廃棄物焼却場の停止
- 遺体の火葬場の停止
- 交通障害

応急対応

- プロパンガスの復旧は早く、地震後11日でほぼ復旧
 - 都市ガスからの燃料転換
 - 避難所、仮設住宅への供給
- 病院など重要施設200箇所余りへの代替エネルギー提供
- 避難所などへのカセットコンロの配布、入浴支援
- 病院、ごみ焼却場、斎場などに直結する中圧導管は2月上旬にほぼ全面復旧

阪神・淡路大震災と燃料

- 石油ストーブの使用
- 交通需要に対する燃料調達
 - ガソリンスタンドの営業停止
 - 警察・消防等の緊急車両の燃料
 - 電源車・救援物資の輸送車の燃料
- ローリーによる輸送
 - 交通渋滞による遅延

ネットワーク

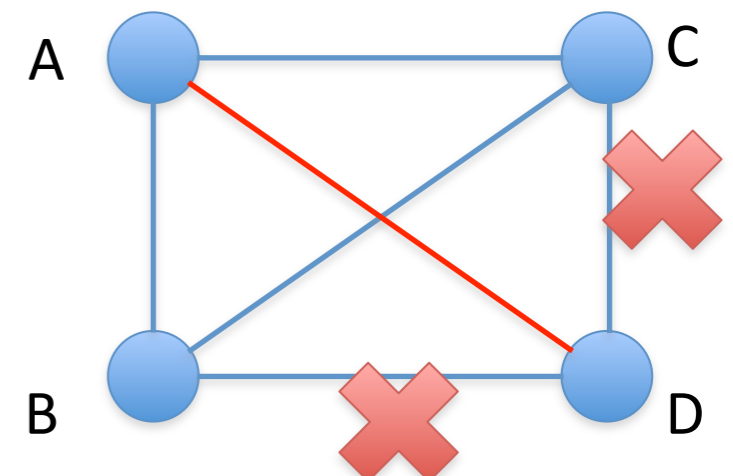
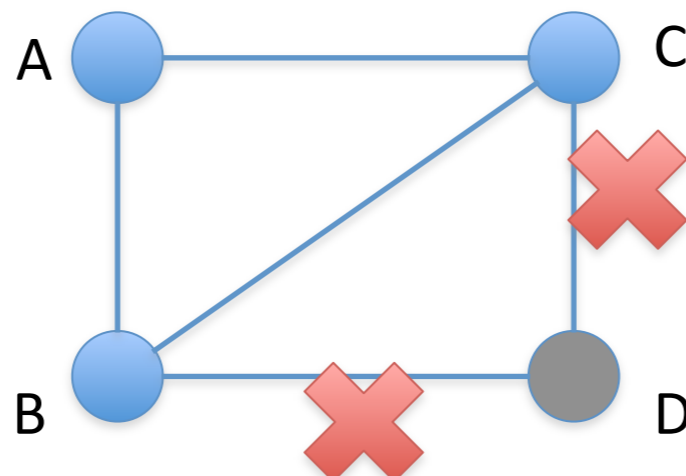
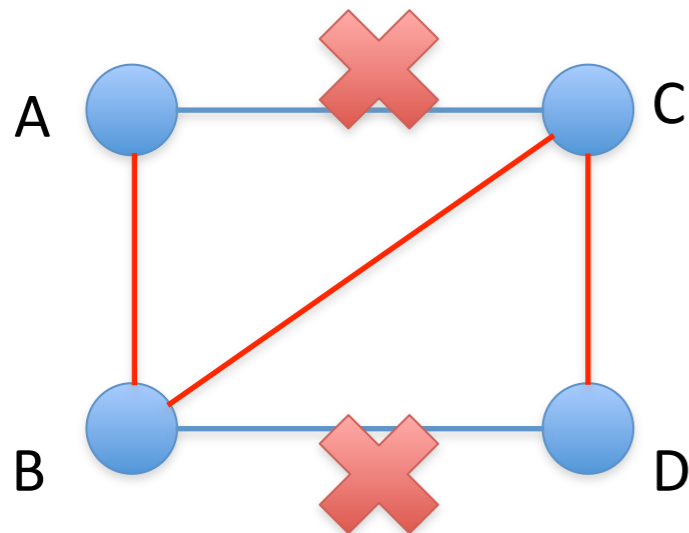
- 電力・エネルギーのネットワーク
 - 電力：発電所→送電線→変電所→配電線
 - ガス：製造所→高圧幹線→中圧導管→低圧導管
- ネットワークの階層構造
 - 上位→下位
 - 単純なネットワーク→複雑なネットワーク
 - 要素数：少→要素数：多

ネットワークと自然災害

- 地震等の災害時

- 細いパイプ・線ほど影響を受けやすく、破損しやすい

- ネットワークの冗長度 (Redundancy) を増すことによるシステム全体の挙動の改善



ネットワークと自然災害

- **地震等の災害時**

- ノードやリンク数の多い、下層のネットワークで被害が発生し、復旧作業は膨大になる

- **広域連携**

- **Resourcefulness**

- 必要な人員・資機材を、被災地の内外から、十分に投入する

- **配分方法**

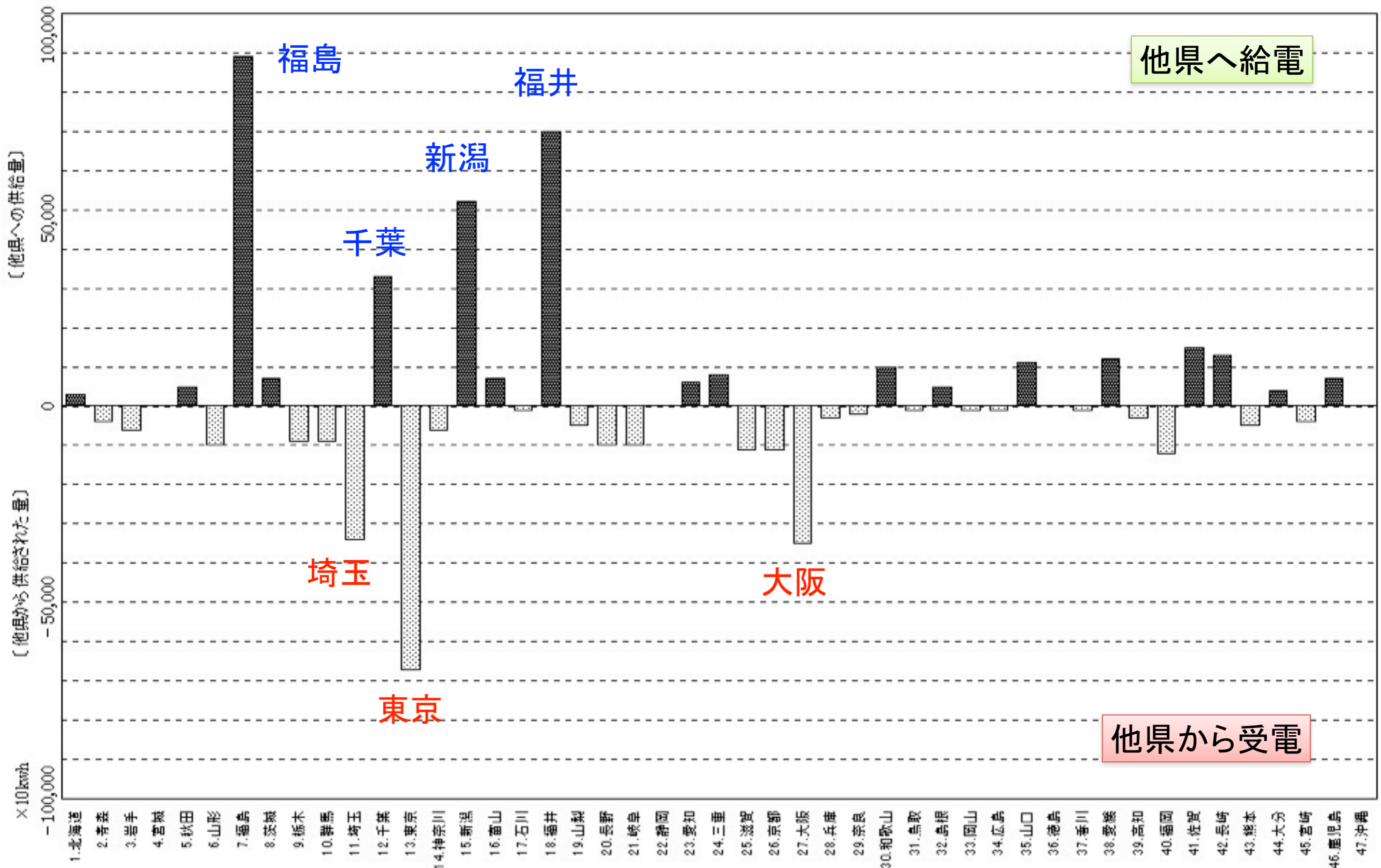
東南海・南海地震 被災地域の発電所

	火力	水力	原子力	揚水	発電電力
震度7	3				1,800,000 kW
震度6強	18	1			8,869,000 kW
震度6弱	61	5	5		32,371,000 kW
震度5強	58	3	3	5	25,861,000 kW
震度5弱	31	8		4	14,504,000 kW
計	171	17	8	9	83,405,000 kW
全国シェア	49%	19%	15%	21%	36%

東南海・南海地震と電力

- 8000万kWの発電能力が曝露
- 原子力・火力発電所に依存する中央集権のシステム
- 全国の火力発電所の半数が集中
 - 火力発電所は普通の建物なので被害が発生
- 原子力発電所は点検のための長期停止
- 東京電力側からの送電は周波数変換所の容量で100万kWにとどまる

都道府県別電力需給バランス



2006 首都圏大規模停電

• 原因

- クレーン船が、アームを上げたまま河川を航行、基幹的な送電線を切断

• 停電世帯

- 東京都心部14区1市の約97.4万世帯
- 神奈川県横浜市、川崎市の約22万世帯
- 千葉県浦安市、市川市の約19.7万世帯
- 計約139万世帯が停電



首都圏大規模停電の影響

- 水道
 - 千葉県内で一時断水したほか、東京都内では一部水道水が濁る事態も発生
- 鉄道
 - JR京葉線、東京メトロ銀座線・日比谷線・東西線・半蔵門線、都営地下鉄新宿線・浅草線・三田線、横浜市営地下鉄ブルーライン、ゆりかもめ ストップ
 - 約34.5万人の足に影響
- 道路
 - 東京262、千葉118、神奈川21箇所の信号停止
 - 首都高速道路の一部の料金所でETC停止
- 港湾
 - コンテナターミナル・フェリーターミナル停止

首都圏大規模停電の影響

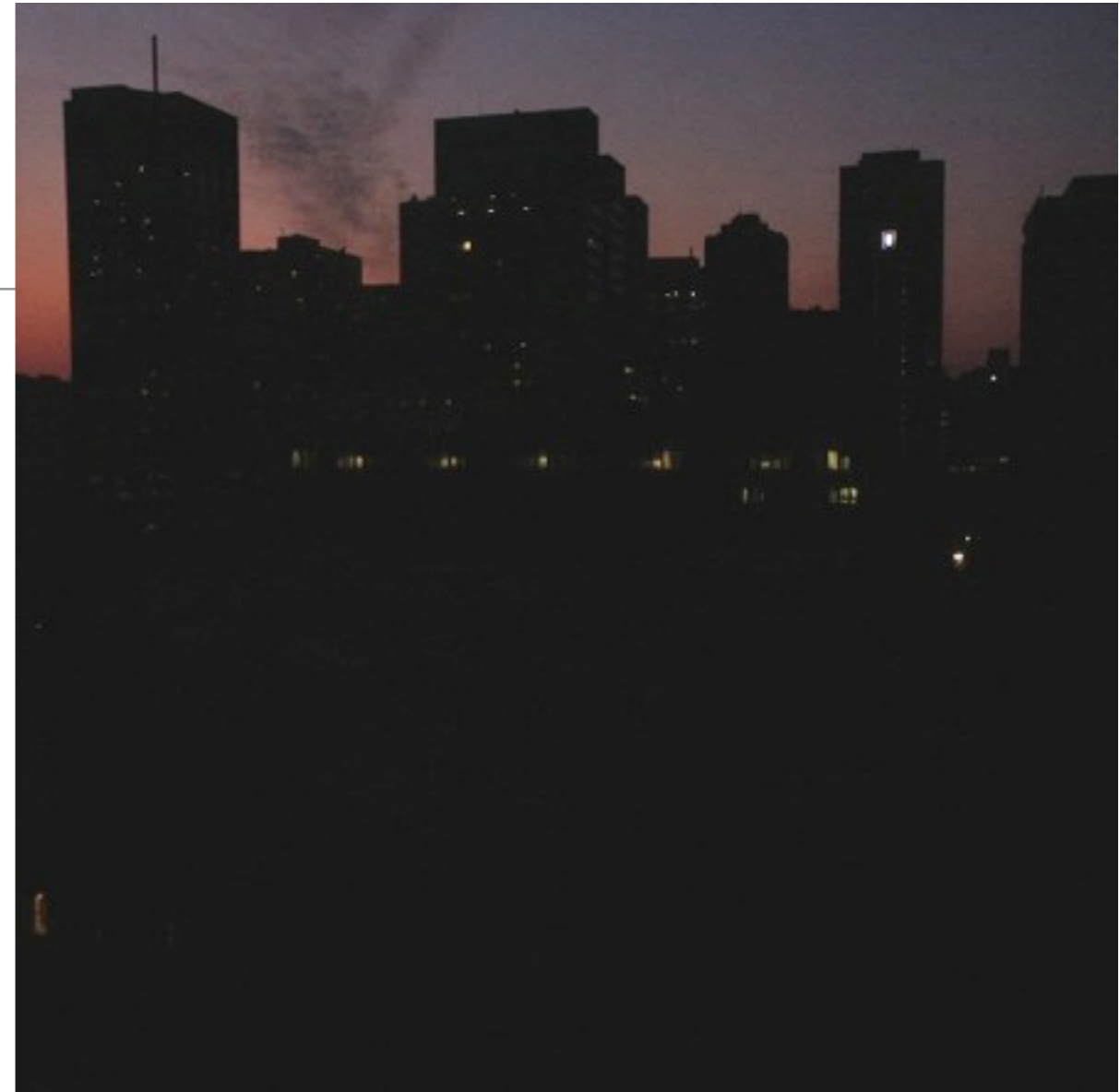
- **通信**
 - 300の屋内基地局が一時不通
 - 一部の商業施設や地下駅構内で携帯電話が通じにくくなった
- **金融**
 - 日経平均株価の配信停止
 - セブン銀行200・三菱東京UFJ銀行600・りそな銀行40・みずほ銀行20のATMがストップ
- **病院**
 - 外来の会計システムストップ
 - 点検・確認のために患者受け入れ停止
- **流通**
 - セブン-イレブン約200店舗、ローソン約30店舗に影響、一部で営業停止
- **エネルギー**
 - 出光興産のガソリンスタンド40箇所で約40分給油停止

カスケード故障

- **1996 Western North-America Summer Blackout**
 - 猛暑・消費電力の上昇により、送電線が延びる
 - オレゴン州のオールストーン=キーラー線が樹木に接触、切断
 - 自動的に莫大な電力を迂回ルートへ切り替え
 - 迂回ルートのうち低電圧線が負荷に耐えきれずに切断
 - 自動的に負荷を迂回ルートへ切り替え
 - ロス=レキシントン送電線に電力が集中、樹木に接触、切断
 - 供給過剰
 - マクナリー・ダムが発電機に異常が発生
 - 発電機がオフライン
 - アメリカ西部のネットワークが孤立

Northeast Blackout of 2003

- **Phase 1 電力低下**
 - 観測・給電制御システムに故障発生
 - Eastlake発電所停止
 - Stuart-Atlanta 345-kV 線 切断
- **Phase 2 コンピュータ故障**
 - 警告システム故障
 - コントロールシステム故障
 - star-South Canton 345-kV 線 切断
 - バックアップコンピュータ故障
- **Phase 3 カスケード故障**
 - Harding-Chamberlin 345-kV線・Hanna-Juniper 345-kV線 切断
 - 16本の138-kV線・Sammis-Star 345-kV線 切断
 - 各地区同士の電力網が切断
 - 263の発電機がシャットダウン



ネットワークの頑健性と脆弱性

- **頑健性・冗長性**

- ネットワーク構造となっていることにより、故障が発生したノードを、迂回することができる
- 一部のノードの故障に対しては、ネットワークが保たれる

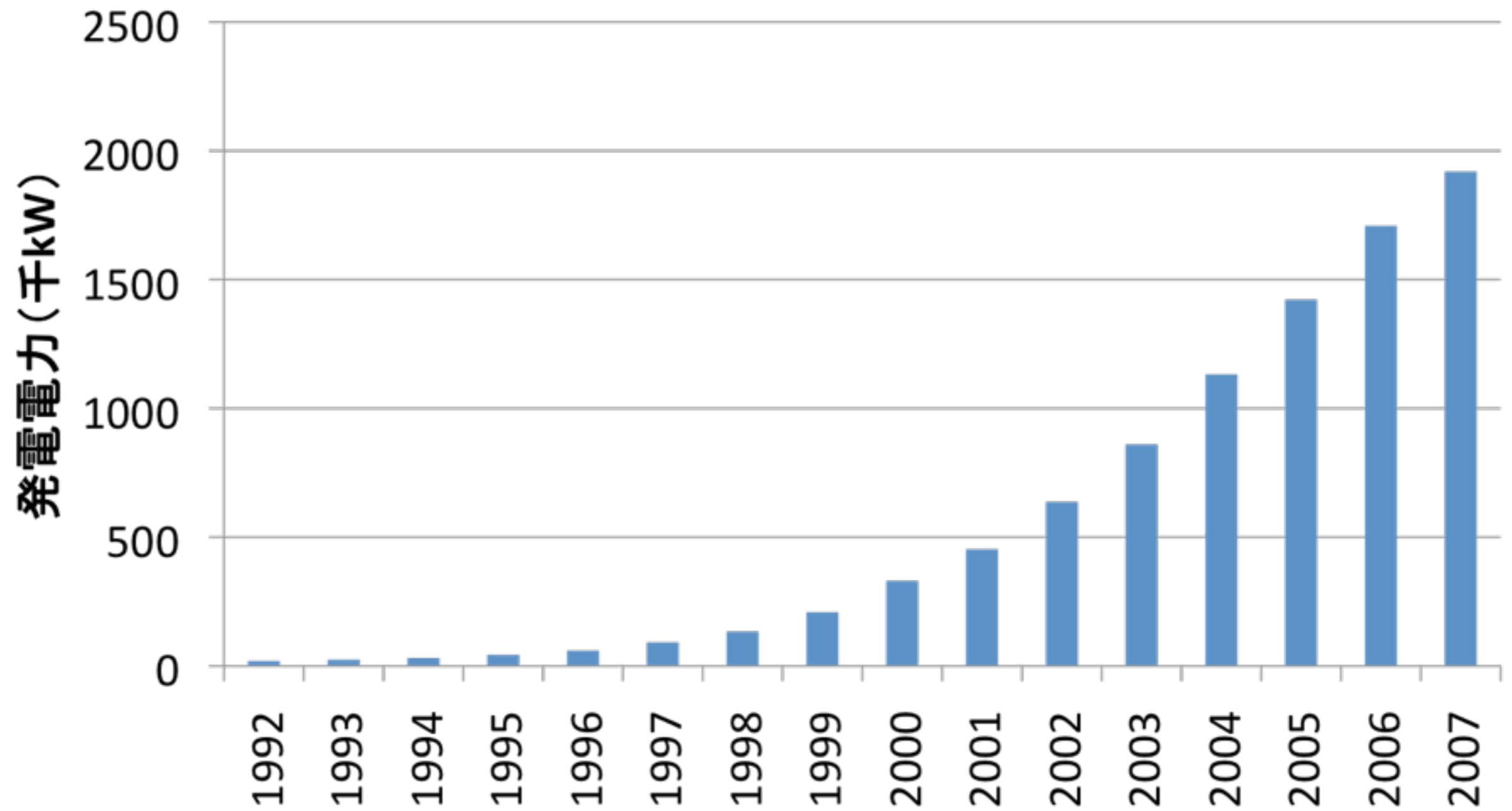
- **脆弱性**

- ハブを攻撃することにより崩壊
- カスケード故障が発生する

集中型と分散型

- **集中型**：耐震性能の向上、事業継続
- **分散型**：集中型インフラへの依存度を低減
 - 太陽光発電、風力発電、水力発電
- **自然災害**
 - 火力・原子力発電所の長期停止
- **テロ**
 - 送電線網に内在する脆弱性の回避
 - 他国に依存するエネルギー源

太陽光発電 国内の発電能力の推移



IEA: TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS
Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2007