

# IIJR

Internet  
Infrastructure  
Review

Sep.2024

Vol. 64

定期観測レポート

## ブロードバンドトラフィックレポート ～この5年間を振り返って～

フォーカス・リサーチ

## 仮想化技術の変遷とIIJの取り組み

IIJ

Internet Initiative Japan

---

# Internet Infrastructure Review

September 2024 Vol.64

エグゼクティブサマリ .....	3
<b>1. 定期観測レポート</b> .....	<b>4</b>
1.1 概要 .....	4
1.2 データについて .....	5
1.3 利用者の1日の使用量 .....	5
1.4 ポート別使用量 .....	8
1.5 この5年間の振り返り .....	9
1.6 まとめ .....	11
<b>2. フォーカス・リサーチ</b> .....	<b>12</b>
2.1 はじめに .....	12
2.2 仮想化技術の歴史 .....	12
2.2.1 最初の仮想化 .....	12
2.2.2 「x86仮想化」による仮想化技術の再燃 .....	12
2.2.3 ソフトウェア仮想化の限界とハードウェアによる仮想化支援機能の登場 .....	13
2.2.4 「サーバ仮想化」の成熟とクラウドの出現 .....	14
2.2.5 マイクロサービス・アーキテクチャとOSレベルの仮想化 .....	15
2.3 技術の選定とサービス開発 .....	15
2.4 IJにおける実例の紹介 .....	16
2.5 まとめ .....	21

## エグゼクティブサマリ

CrowdStrike社が配布したチャンネルファイルの不具合のため、米国時間7月19日より全世界で大きな影響が出たことは、皆さまご存じのことと思います。対象となったのは、同社のFalconセンサーを利用しているWindowsデバイス(PCやサーバなど)で、Microsoft社の発表(Helping our customers through the CrowdStrike outage - The Official Microsoft Blog)によると、影響を受けたWindowsデバイスは850万台、あるいは、全Windowsデバイスの1%未満と推定されています。

全Windowsデバイスの1%未満のわりには、金融、航空、医療など、社会を支える基盤に多大な影響が出たことを意外に感じるかもしれませんが、CrowdStrike社のセキュリティ製品がクリティカルな業務に使われているデバイスに多く利用されていたことの証左と言えるでしょう。

CrowdStrike社から発表されているRoot Cause Analysis(Channel-File-291-Incident-Root-Cause-Analysis-08.06.2024.pdf(crowdstrike.com))によると、問題は大きく2点。1点目は各種チェックの不足。ヒューマンエラーをゼロにすることは現実には不可能であり、多段のチェックにより不具合の流出を防ぎ、影響を最小限に止めることが重要であることは言うまでもありません。2点目としては、staged deployment、いわゆるカナリアリリースの必要性が指摘されています。私どもの観測においても、新しいチャンネルファイルを受信したデバイスから順次、動作不具合が発生しており、初期の配信先を限定するなど、段階的なリリースによって早期に問題を検知できていれば、これだけ大規模な影響をもたらす前に何らかの対策を打つことができたかもしれません。

更なる対策としては、独立した第三者のレビューを受けることが記されています。多段のチェック、カナリアリリース、そして第三者レビューは、我々自身がシステムを開発・運用する際にも常に心がけているポイントです。

現在のコンピュータシステムは複雑性を増すばかりです。エラーは発生するという前提のもと、いかに不具合の流出を防ぐか、影響の範囲を狭めるかという観点に立ったシステム設計・運用設計がますます重要になっている、と改めて感じた事件でした。

「IIR」は、IJJで研究・開発している幅広い技術を紹介しており、日々のサービス運用から得られる各種データをまとめた「定期観測レポート」と、特定テーマを掘り下げた「フォーカス・リサーチ」から構成されます。

1章の定期観測レポートは、ブロードバンドトラフィックレポートです。毎年IJJの固定ブロードバンドサービス及びモバイルサービスのトラフィックを分析しています。ブロードバンドサービス、モバイルサービス共に全体の通信量は安定的な成長が継続していることと、HTTPSのTCP443番ポートとQUICで使われるUDP443ポートの割合が増えていることはここ数年、同様の傾向が観測されています。今回、あらためて過去5年の傾向を振り返ったところ、1年ごとの観測ではさほど注目されない変化でも、5年の積み上げで見ると、インフラに相応のインパクトを与える規模の変化であったことが再認識できるデータが出ています。

2章のフォーカス・リサーチでは、仮想化技術の変遷とIJJの取り組みを解説します。仮想化技術の歴史は長いものの、2000年代以降にインテルアーキテクチャサーバとクラウドコンピューティングの普及と共に、技術が大きく進化し、爆発的に利用が進みました。今日のクラウドコンピューティングを支える仮想化技術の歴史を1960年代まで遡って紐解き、IJJが自社のクラウドサービスにおいてどのように仮想化技術を利用し、どのような機能を実装してきたかを紹介しています。

IJJでは、このような活動を通じて、インターネットの安定性を維持しながら、日々改善し発展させていく努力を続けております。今後も、企業活動のインフラとして最大限に活用していただけるよう、様々なサービス及びソリューションを提供し続けてまいります。



島上 純一 (しまがみ じゅんいち)

IJJ 取締役 専務執行役員 CTO。インターネットに魅かれて、1996年9月にIJJ入社。IJJが主導したアジア域内ネットワークA-BoneやIJJのバックボーンネットワークの設計、構築に従事した後、IJJのネットワークサービスを統括。2015年よりCTOとしてネットワーク、クラウド、セキュリティなど技術全般を統括。2017年4月にテレコムサービス協会MVNO委員会の委員長に就任し、2023年5月に退任。2021年6月より同協会の副会長に就任。

# ブロードバンドトラフィックレポート ～この5年間を振り返って～

## 1.1 概要

このレポートでは、毎年IIJが運用しているブロードバンド接続サービスのトラフィックを分析して、その結果を報告しています\*1\*2\*3\*4\*5。今回も、利用者の1日のトラフィック量やポート別使用量などを基に、この1年間のトラフィック傾向の変化を報告します。また、レポートの後半では、コロナ禍を挟むこの5年間のトラフィックの変化を振り返ります。

全体として、昨年と同様に、今年もトラフィックは安定した成長が続いています。今のところその傾向に目立った変化は見られません。

図-1は、IIJの固定ブロードバンドサービス及びモバイルサービス全体について、月ごとの平均トラフィック量の推移を示したグラフです。トラフィックのIN/OUTはISPから見た方向を表し、INは利用者からのアップロード、OUTは利用者へのダウンロードとなります。トラフィック量の数値は開示できないため、新型コロナウイルス感染拡大前の2020年1月の両サービスのOUTの値を1として正規化しています。

この1年のブロードバンドトラフィック量は、INは14%の増加、OUTは12%の増加となっています。1年前はそれぞれ11%と18%でした。

ブロードバンドに関しては、IPv6・IPoEのトラフィック量も含めて示しています。IIJのブロードバンドにおけるIPv6は、IPoE方式とPPPoE方式があります。2024年6月時点で、IPoEのブロードバンドトラフィック量の全体に占める割合は、INで43%、OUTで48%と、昨年同月よりINで1ポイント、OUTで4ポイント増えていて、全体の5割弱がIPoEとなっています。図からも2020年以降PPPoEのトラフィックは横ばいで、IPoEのトラフィックが増加を牽引していることが分かります。

モバイルサービスは、コロナ禍の最初1年ほどは外出が減ったことで、トラフィックは横ばいでしたが、その後は増加傾向が続いています。モバイルはこの1年でINは29%、OUTは20%の増加となっています。1年前はそれぞれ27%と31%でした。今回、OUTは2020年1月比で2.1倍となり、図-1に示すようにコロナ後の伸びがブロードバンドに追いつきました。

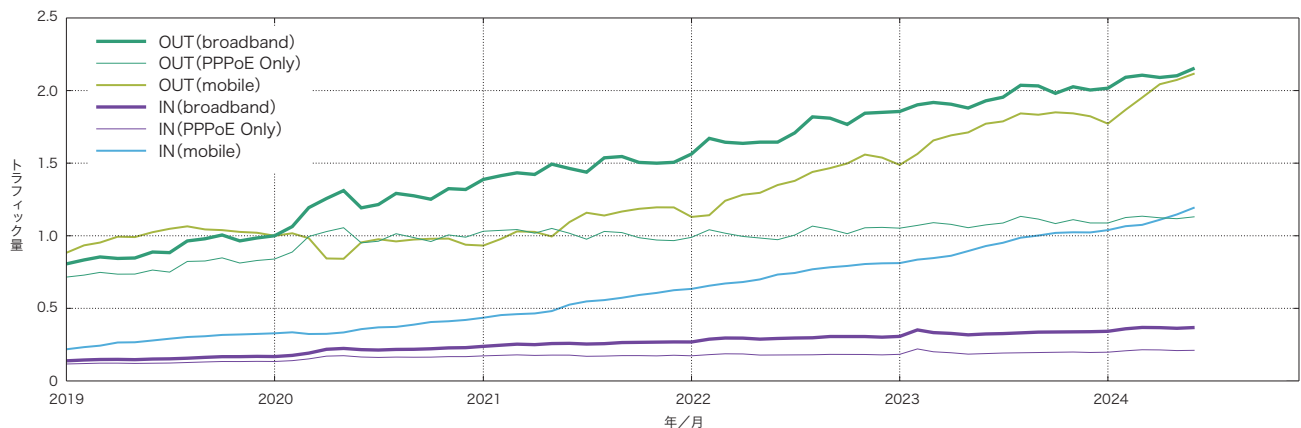


図-1 ブロードバンド及びモバイルの月間トラフィック量の推移

\*1 長健二郎. ブロードバンドトラフィックレポート: コロナ禍を経てトラフィックは安定増加傾向. Internet Infrastructure Review. vol.60. pp4-11. September 2023.  
 \*2 長健二郎. ブロードバンドトラフィックレポート: コロナ禍3年目のトラフィックは小康状態. Internet Infrastructure Review. vol.56. pp4-11. September 2022.  
 \*3 長健二郎. ブロードバンドトラフィックレポート: 2年目に入ったコロナ禍の影響. Internet Infrastructure Review. vol.52. pp4-11. September 2021.  
 \*4 長健二郎. ブロードバンドトラフィックレポート: 新型コロナウイルス感染拡大の影響. Internet Infrastructure Review. vol.48. pp4-9. September 2020.  
 \*5 長健二郎. ブロードバンドトラフィックレポート: トラフィック量は緩やかな伸びが継続. Internet Infrastructure Review. vol.44. pp4-9. September 2019.

モバイルサービスのINの比率が高いのは、アップロードが多い法人向けサービスの影響で、個人向けサービスに限ればIN比率はブロードバンド同様1/10程度です。

次に、この1年の平日の時間別ブロードバンドトラフィック量の推移を見ていきます。図-2に、昨年5月末の週から約4か月おきに4つの週を選んで、各週の月曜から金曜の各時間の平均トラフィック量を示します。ここ数年学校が休みの時期は平日昼間のトラフィック量が増えるようになったので、学期途中の週を選んでいきます。ここでのトラフィック量はPPPoEとIPoEの合計値です。下側の破線はそれぞれの週のアップロード量ですが、今回もダウンロード量に注目すると、どの時間帯においても着実にトラフィック量が増えてきていることが分かります。

## 1.2 データについて

今回も前回までと同様に、ブロードバンドに関しては、個人及び法人向けのブロードバンド接続サービスについて、ファイバーとDSLによるブロードバンド顧客を収容するルータで、Sampled NetFlowにより収集した調査データを利用しています。モバイルに関しては、個人及び法人向けのモバイルサービスについて、使用量にはアクセスゲートウェイの課金用情報を、使用ポートにはサービス収容ルータでのSampled NetFlowデータを利用しています。

トラフィックは平日と休日で傾向が異なるため、1週間分のトラフィックを解析します。今回は、2024年6月3日～6月9日の1週

間分のデータを解析して、前回解析した2023年5月29日～6月4日の1週間分と比較します。

ブロードバンドの集計は契約ごとに行い、一方モバイルでは複数電話番号の契約があるので電話番号ごとの集計となっています。ブロードバンド各利用者の使用量は、利用者に割り当てられたIPアドレスと、観測されたIPアドレスを照合して求めています。なお、IPoEトラフィックはインターネットマルチフィード社のtransixサービスを利用して詳細なデータが取得できていないため、ポート別解析の対象にはなっていません。

## 1.3 利用者の1日の使用量

まずは、ブロードバンド及びモバイル利用者の1日の利用量をいくつかの切り口から見ていきます。ここでの1日の利用量は各利用者の1週間分のデータの1日平均です。

2019年のレポートから、利用者の1日の使用量は個人向けサービス利用者のデータのみを使っています。これは、利用形態が多様な法人向けサービスを含めると分布の歪みが大きくなってしまったため、全体の利用傾向を掴むには個人向けサービス分だけを対象にした方が、より一般性があり分かりやすいと判断したからです。なお、次節のポート別使用量の解析では区別が難しいため法人向けも含めたデータを使っています。また、2021年からブロードバンドにはIPoEの利用者のデータも加えて、PPPoEとIPoEを統合してブロードバンドとして示しています\*6。

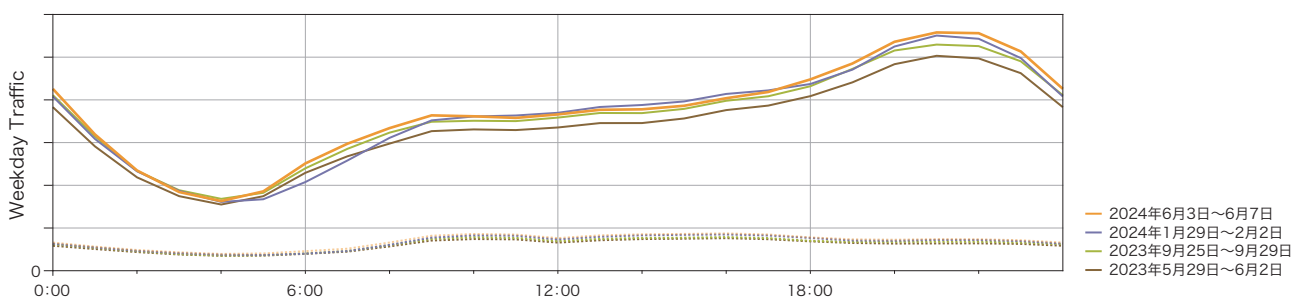


図-2 この1年の平日時間別ブロードバンドトラフィック量の推移

\*6 利用者がPPPoEとIPoEの両方を使っている場合はそれぞれ別の利用者として扱われています。

図-3及び図-4は、ブロードバンドとモバイル利用者の1日の平均利用量の分布(確率密度関数)を示します。アップロード(IN)とダウンロード(OUT)に分け、利用者のトラフィック量をX軸に、その出現確率をY軸に示して、2023年と2024年を比較しています。X軸はログスケールで、10KB (10<sup>4</sup>)から100GB (10<sup>11</sup>)の範囲を示しています。一部の利用者はグラフの範囲外にありますが、おおむね100GB (10<sup>11</sup>)までの範囲に分布しています。

図中のINとOUTの各分布は、片対数グラフ上で正規分布となる対数正規分布に近い形をしています。これはリニアなグラフで見ると、左端近くにピークがあるいわゆるロングテールな分布です。OUTの分布はINの分布より右にずれていて、ダ

ウンロード量がアップロード量より、ひと桁以上大きくなっています。

まず、図-3のブロードバンドの分布を見ます。2023年と2024年を比較すると、INとOUT共に分布全体がごくわずかながらも右側に移動していますが、全体的に利用量はほとんど変わっていないことが分かります。

図-4のモバイルの場合は、分布の山が昨年に比べ少し右に移動して、全体の利用量が増えていることが分かります。モバイルの利用量は、ブロードバンドに比べて大幅に少なく、また、使用量に制限があるため、分布右側のヘビーユーザの割合が少なくなっています。極端なヘビーユーザも存在しません。外出時のみの利用や、使用量の制限のため、各利用者の日ごとの利用量のばらつきはブロードバンドより大きくなります。

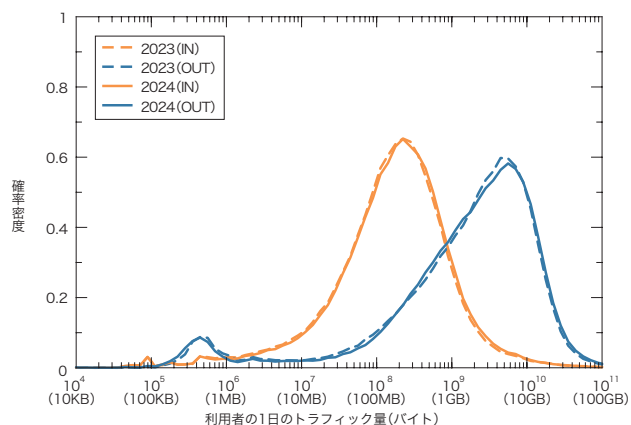


図-3 ブロードバンド利用者の1日のトラフィック量分布  
2023年と2024年の比較

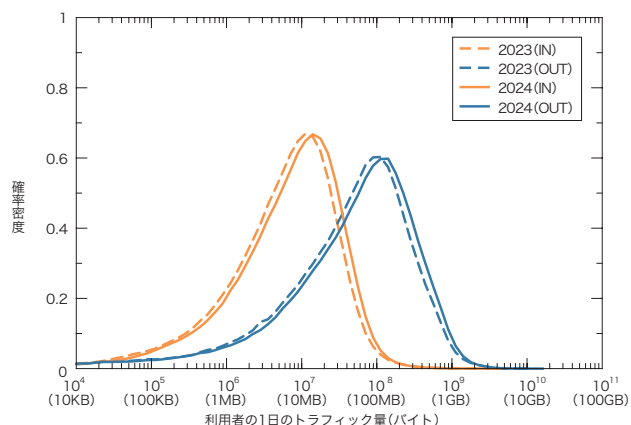


図-4 モバイル利用者の1日のトラフィック量分布  
2023年と2024年の比較

表-1は、ブロードバンド利用者の1日のトラフィック量の平均値と中間値、分布の山の頂点にある最頻出値の推移を示します。分布の山に対して頂点が少しずれている場合は、最頻出

年	IN (MB/day)			OUT (MB/day)		
	平均値	中間値	最頻出値	平均値	中間値	最頻出値
2007	436	5	5	718	59	56
2008	490	6	6	807	75	79
2009	561	6	6	973	91	100
2010	442	7	7	878	111	126
2011	398	9	9	931	144	200
2012	364	11	13	945	176	251
2013	320	13	16	928	208	355
2014	348	21	28	1124	311	501
2015	351	32	45	1399	443	708
2016	361	48	63	1808	726	1000
2017	391	63	79	2285	900	1259
2018	428	66	79	2664	1083	1585
2019	479	75	89	2986	1187	1995
2020	609	122	158	3810	1638	3162
2021	714	143	200	4432	2004	3981
2022	727	142	178	4610	2010	3981
2023	804	166	224	5456	2369	5012
2024	834	178	224	5743	2372	5620

表-1 ブロードバンド個人利用者の1日のトラフィック量の  
平均値と最頻出値の推移

値は分布の山の中央に来るように補正しています。分布の最頻出値を2023年と2024年で比較すると、INでは224MBのまま変わらず、OUTでは5012MBから5620MBに増えています。伸び率で見ると、INで1.00倍、OUTは1.12倍となっています。一方、平均値はグラフ右側のヘビーユーザの使用量に左右されるため、2024年には、INの平均は834MB、OUTの平均は5743MBと、最頻出値より大きな値になります。2023年には、それぞれ804MBと5456MBでした。なお、前述のように2020年分まではPPPoE利用者のみの数字で、2021年以降はPPPoE利用者とIPoE利用者を統合した数字になっています。

表-2はモバイルの値の推移で、2024年の最頻出値はINで14MB、OUTで112MB、平均値はINで16MB、OUTで150MB

年	IN (MB/day)			OUT (MB/day)		
	平均値	中間値	最頻出値	平均値	中間値	最頻出値
2015	6.2	3.2	4.5	49.2	23.5	44.7
2016	7.6	4.1	7.1	66.5	32.7	63.1
2017	9.3	4.9	7.9	79.9	41.2	79.4
2018	10.5	5.4	8.9	83.8	44.3	79.4
2019	11.2	5.9	8.9	84.9	46.4	79.4
2020	10.4	4.5	7.1	79.4	35.1	63.1
2021	9.9	4.7	7.9	85.9	37.9	70.8
2022	12.8	6.0	10.0	113.7	49.2	89.1
2023	14.1	6.8	11.2	129.2	56.0	100.0
2024	16.3	8.2	14.1	150.4	66.7	112.2

表-2 モバイル個人利用者の1日のトラフィック量の平均値と最頻出値

です。2023年の最頻出値はINで11MB、OUTで100MB、平均値はINで14MB、OUTで129MBでした。

図-5及び図-6では、利用者5,000人をランダムに抽出し、利用者ごとのIN/OUT使用量をプロットしています。X軸はOUT(ダウンロード量)、Y軸はIN(アップロード量)で、共にログスケールです。利用者のIN/OUTが同量であれば対角線上にプロットされます。

対角線の下側に沿って広がるクラスタは、ダウンロード量がひと桁多い一般的なユーザです。各利用者の使用量やIN/OUT比率にも大きなばらつきがあり、多様な利用形態が存在することがうかがえます。モバイルでも、OUTがひと桁多い傾向は同じですが、ブロードバンドに比べて利用量は大幅に少なくなっています。ブロードバンド、モバイル共に、2023年との違いはほとんどないと言えます。

利用者間のトラフィック使用量の偏りを見ると、使用量には大きな偏りがあり、結果として全体は一部利用者のトラフィックで占められています。例えば、ブロードバンド上位10%の利用者がOUTの50%、INの75%を占めています。更に、上位1%の利用者がOUTの15%、INの46%を占めています。モバイルでは上位10%の利用者がOUTの48%、INの45%を占めていて、上位1%の利用者がOUTの12%、INの13%を占めています。

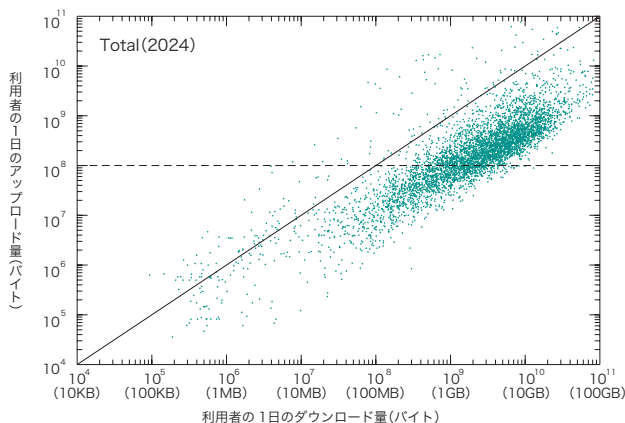


図-5 ブロードバンド利用者ごとのIN/OUT使用量

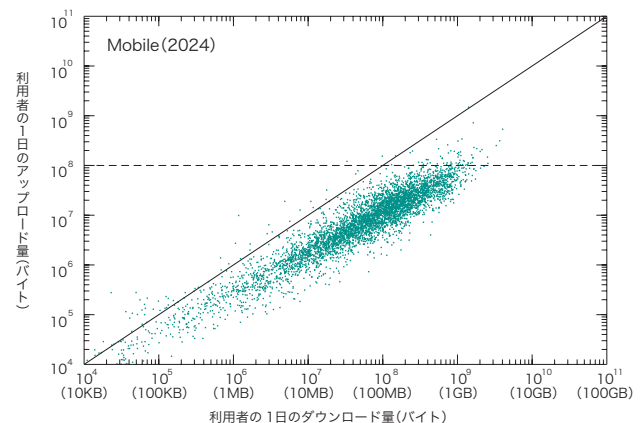


図-6 モバイル利用者ごとのIN/OUT使用量

## 1.4 ポート別使用量

次に、トラフィックの内訳をポート別の使用量から見ていきます。最近では、ポート番号からアプリケーションを特定することは困難です。P2P系アプリケーションには、双方が動的ポートを使うものが多く、また、多くのクライアント・サーバ型アプリケーションがファイアウォールを回避するため、HTTPが使う80番ポートなどを利用します。大まかに分けると、双方が1024番以上の動的ポートを使っていればP2P系のアプリケーションの可能性が高く、片方が1024番未満のいわゆるウェルノウンポートを使っていれば、クライアント・サーバ型のアプリケーションの可能性が高いと言えます。そこで、TCPとUDPで、ソースとデスティネーションのポート番号の小さい方を取り、ポート番号別の使用量を見てみます。

表-3はブロードバンド利用者のポート使用割合について過去5年間の推移を示します。2024年の全体トラフィックの68%はTCPで、昨年から3ポイント減りました。HTTPSのTCP443番ポートの割合は、54%で前回から3ポイント減りました。HTTPのTCP80番ポートの割合は7%でわずかながら減っています。

year	2020	2021	2022	2023	2024
protocol port	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<b>TCP</b>	<b>77.2</b>	<b>71.9</b>	<b>71.6</b>	<b>70.5</b>	<b>67.5</b>
(< 1024)	70.5	65.8	65.4	64.8	61.1
443(https)	52.4	53.5	55.7	56.9	53.8
80(http)	17.2	11.6	8.9	7.2	6.5
183	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2
993(imaps)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
22(ssh)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
(>= 1024)	6.7	6.1	6.2	5.7	6.4
31000	0.4	0.6	0.9	1.1	1.2
1935(rtmp)	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3
8080	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
<b>UDP</b>	<b>19.4</b>	<b>24.5</b>	<b>24.3</b>	<b>25.4</b>	<b>28.2</b>
443(https)	10.5	15.9	16.3	18.2	21.0
4500(nat-t)	0.6	0.8	0.8	1.0	0.9
8801	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4
<b>ESP</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.8</b>	<b>3.8</b>	<b>4.0</b>
<b>GRE</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>
<b>IP-ENCAP</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
<b>ICMP</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

表-3 ブロードバンド利用者のポート別使用量

QUICプロトコルで使われるUDP443番ポートは、21%で3ポイント増えました。

TCPの動的ポートは、わずかに増えて6%でした。動的ポートでの個別のポート番号の割合はわずかで、最大の31000番でも1.2%となっています。

表-4はモバイル利用者のポート使用割合です。全体的にはブロードバンドの数字に近い値となっています。これは、スマートフォンでもPCと同様のアプリケーションを使うようになってきたことに加え、ブロードバンドにおけるスマートフォンの利用割合が増えているからだと考えられます。

ブロードバンドのポート別データは、PPPoEだけでIPoEを含まないため、固定ブロードバンド全体の傾向を表しているとは限りません。モバイルでのIPv4とIPv6の違いを見ると、IPv6ではTCPもUDPも443番ポートの割合がより大きくなっていて、IPoEでも同様の傾向があると考えられます。

year	2020	2021	2022	2023	2024
protocol port	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<b>TCP</b>	<b>75.5</b>	<b>70.3</b>	<b>71.6</b>	<b>71.0</b>	<b>71.0</b>
443(https)	50.7	44.4	42.3	42.1	42.2
80(http)	7.4	5.0	4.1	3.5	1.8
993(imaps)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
1935(rtmp)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
<b>UDP</b>	<b>18.0</b>	<b>23.8</b>	<b>24.4</b>	<b>26.5</b>	<b>27.5</b>
443(https)	9.3	16.3	17.9	20.9	22.5
4500(nat-t)	1.8	3.7	2.7	2.5	1.8
51820	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3
53(dns)	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
8801	1.4	0.7	0.3	0.2	0.1
<b>ESP</b>	<b>6.4</b>	<b>5.8</b>	<b>3.9</b>	<b>2.4</b>	<b>1.4</b>
<b>GRE</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>ICMP</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>

表-4 モバイル利用者のポート別使用量



図-7は、ブロードバンド全体トラフィックにおける主要ポート利用の週間推移を、2023年と2024年で比較したものです。TCPポートの80番・443番・1024番以上の動的ポート、UDPポート443番の4つに分けてそれぞれの推移を示しています。グラフでは、ピーク時の総トラフィック量を1として正規化して表しています。全体のピークは19時～23時頃です。2023年と比較して、全体では大きな変化はありませんが、UDPポート443番が少し増えています。

図-8のモバイルでは、トラフィックの大半を占めるTCP80番ポートと443番ポート、UDP443番ポートについて推移を示します。2023年と比べると、ブロードバンドと同様にUDPポート443番が少し増えています。ブロードバンドに比べると、平日には、朝の通勤時間、昼休み、夕方と3つのピークがあるなど利用時間の違いがあります。

### 1.5 この5年間の振り返り

今回は、コロナ禍を挟んだこの5年間のブロードバンドのトラフィック量の推移を振り返っておきます。

まず、図-1で示した、IIJの固定ブロードバンドサービス全体の月ごとの平均トラフィック量に関してです。2019年6月と2024年6月の5年間の増加を見ると、INで1.72倍、OUTで2.01倍となっていて、年率換算すると1.11と1.15になります。

次に、図-2の平日時間別ブロードバンドトラフィック量の推移を5年分まとめて図-9に示します。時間別データは以前に解析した週についてしか残っていないので、コロナ禍直前の2020年2月とそれ以降は毎年5月後半から6月中頃までの特定の週を取り上げ比較しています。図を見ると、いずれの時間帯もおおむね均等にトラフィックが増えてきていることが分かります。

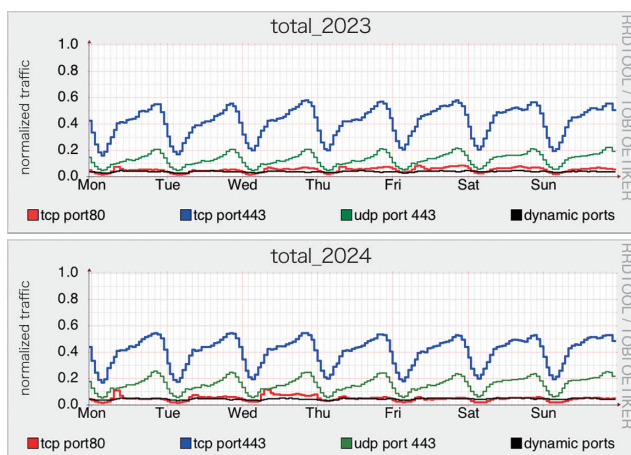


図-7 ブロードバンド利用者のポート利用の週間推移  
2023年(上)と2024年(下)

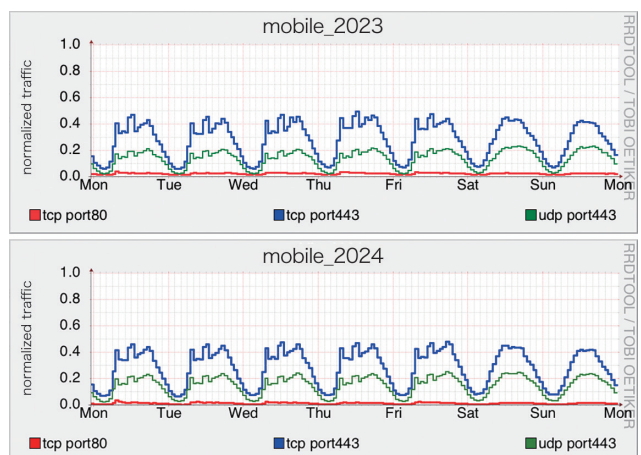


図-8 モバイル利用者のポート利用の週間推移  
2023年(上)と2024年(下)

図-10は図-9のアップロードの部分拡大したものです。アップロードに関しては、コロナ禍以前と比較して明らかに平日昼間のトラフィックの割合が増えました。ダウンロードのピークが夕方から夜にかけてなのに対し、アップロードは午後の早い時間にピークが来ます。図では1時間ごとの値を折れ線表示しているので分かりづらいですが、平日の12時から13時にかけてトラフィックが減ります。昼休みの時間に落ち込むのは、リモートワーク関連利用、特にビデオ会議が減るからだと考えられます。毎年の増加についてはアップロードもほぼ一定です。

図-11は、図-3の利用者ごとの1日のトラフィック量分布の5年間の推移です。本レポートで解析している毎年5月末から6月初めの値です。2019年から2020年が最も増えていて、特にアップロードの増加が大きいことがわかります。しかし、2020年以降は比較的安定した増加になっています。2019年から

2024年の5年間で、分布の山の頂点に当たる最頻出値は、OUT(ダウンロード)で2.0GBから5.6GBへと2.8倍に、IN(アップロード)で89MBから224MBへと2.5倍になっています。

以前のコロナ禍のレポート<sup>\*3\*4</sup>では、感染状況に伴う在宅率の変動に応じて、トラフィック量も大きく変動していたことを報告しました。コロナ禍の最初の緊急事態宣言中には、外出制限でオンラインの活動しかできなくなり、ビデオ会議や動画視聴が急速に広まり、トラフィック量も大きく増えました。当初はインターネットのインフラを圧迫するような事態が危惧されました。しかし、長期的なトラフィック量の推移を見ると、毎年ほぼ均一に増加していて、その増加率も決して大きくはありません。その一方で、平日昼間のリモートワークや学校の長期休暇中の動画視聴と思われるトラフィックが年々増えるなど、生活に変化が起こり定着したことも見えてきます。

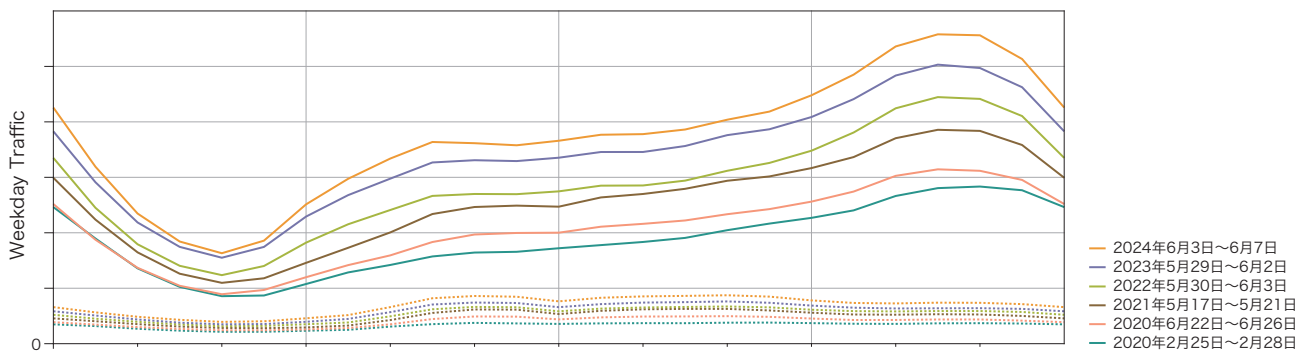


図-9 この5年間の平日時間別ブロードバンドトラフィック量の推移

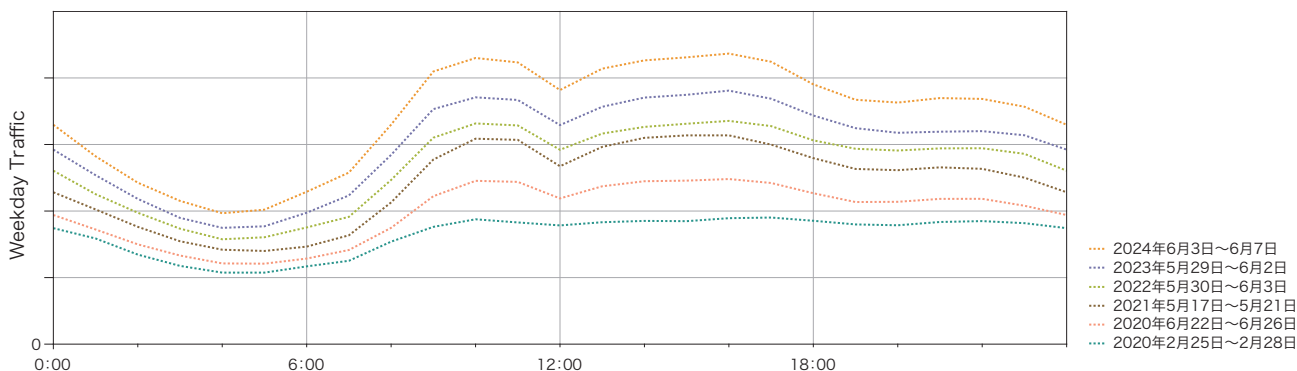


図-10 この5年間の平日時間別ブロードバンドトラフィックアップロード量の推移

## 1.6 まとめ

ここ数年ブロードバンドトラフィックは比較的安定した増加を続けていて、その傾向にもあまり変化は見られません。しかし、1年分の変化は小さくても、5年分を積み上げるとそれなりにインパクトがある変化になります。

この原稿を執筆しているのは、パリ・オリンピックを間近に控えた7月中旬です。5年前に原稿を書いていたときには、まだコロナ禍のようなことが起こるとは夢にも思わず、翌年に控

えた東京オリンピックではインターネット視聴が増えるだろう、などとぼんやり思っていました。今では当たり前になっているスポーツイベントのネット中継やリモートワーク、様々なオンライン手続きなども、5年前には当たり前ではありませんでした。5年前と比べると、想像していた以上にいろいろなことがインターネットからできるようになったのではないのでしょうか。もちろん、まだまだ改善すべき事柄はありますが、改めてインターネットで日々の生活が変わってきていると実感させられます。

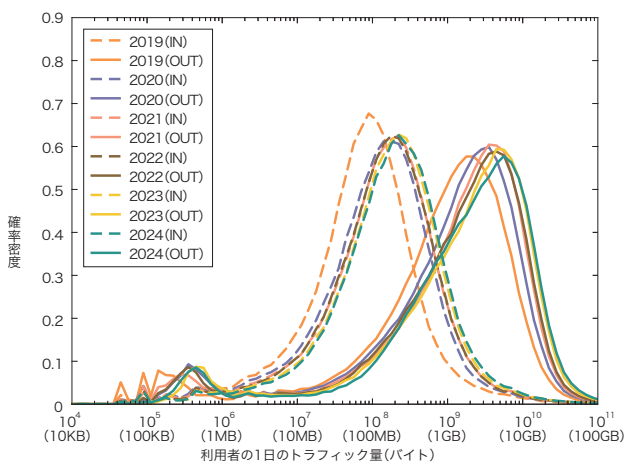


図-11 この5年間のブロードバンド利用者の1日のトラフィック量分布の推移



執筆者：  
長 健二郎 (ちょう けんじろう)  
IUI 技術研究所 所長。

## 仮想化技術の変遷とIIJの取り組み

### 2.1 はじめに

私たちの生活の中で「クラウド」は既に意識されない、あたりまえの言葉として浸透してきています。今日では世界中の企業で様々なクラウドサービスが提供され、それを支える基盤も日々拡大しています。

その中の1つであるIIJのクラウドサービスの基盤の変遷については、過去の記事で紹介してきました\*1が、今回はクラウドコンピューティングという概念を実現し、また様々な進化を遂げてきた仮想化技術を見ていくことにしましょう。

### 2.2 仮想化技術の歴史

#### 2.2.1 最初の仮想化

「仮想化」とはコンピュータのリソースを抽象化することを指し、ソフトウェアと物理的なハードウェアの間に抽象化したレイヤーを提供して、そのリソースを管理するための様々な技術のことを言います。その歴史を紐解くと1960年代までさかのぼることになります。

「仮想化」という言葉が誕生した背景には、それ以前のコンピュータ開発の事情がありました。1940～1950年代ごろのコンピュータは機種ごとにアーキテクチャが異なることが通常でしたが、それまでの機種の設計を参考にすることで新規設計のリスクを避けたり、他の開発元のコンピュータで利用されているプログラム・ライブラリを流用するためなどの目的で、それまでの機種と命令セットの「互換性」を持たせたり論理設計を共通にした互換機と呼ばれる機種が登場しました。

1950年代の後半には、前の世代の機種の命令セットをマイクロコードでエミュレーションして上位互換を提供する機種も

現れ、1960年代に入ると、コンピュータ・アーキテクチャを標準化して互換性を維持する流れが進みます。この頃の各機種の命令セットをエミュレーションした互換性を「仮想機械」と呼び(実際このように呼ばれるのは更に先にはなりますが)、「仮想化」という言葉が使われるようになりました。

そして、1964年には1つのコンピュータで複数の仮想OSを実行できる、最初の「ハイパーバイザ」が登場しましたが、ご存知のとおり、その後「仮想化」の普及は2000年代まで待つことになりました。

この頃の「仮想化」は、大きく高価な1台のコンピュータを複数のユーザで利用できるようにするためのもので、そのユースケースも給与計算のバッチ処理などの何千ものルーティンタスクを高速で利用する事業部門のものが中心でした。

それから数十年の間に、この単一機器を複数ユーザで利用するという課題に対し他のアプローチで解決する動きが生まれました。その1つである「タイムシェアリング」という考え方は、これまで「仮想化」によりハードウェア機能で「仮想機械」ごと論理的に分離していたユーザをオペレーティングシステム(以降OS)内で分離するという解決策を提示しました。これにより、当時の「仮想化」は特定分野の利用にとどまり、ハードウェアの機能による「仮想化」は、一旦下火になります。なお、この「タイムシェアリング」は、現在私たちがシステムの中で利用しているUNIXやLinuxを生み出すきっかけになりました。

#### 2.2.2 「x86仮想化」による仮想化技術の再燃

1990年代に入り、多くの企業は物理サーバとそれを提供する単一ベンダーのソフトウェアを利用する垂直統合なシステム(メインフレーム)を採用しており、既存のアプリケーションを

\*1 Internet Infrastructure Review(IIR)Vol.60 フォーカス・リサーチ(2) IIJとクラウドの変遷～30周年特別コンテンツ～(<https://www.iiij.ad.jp/dev/report/iir/060/03.html>)。

他のベンダーが提供するハードウェアを利用して動かすことはできませんでした。

一方、1980年代に米IBM社のPCに採用され、x86アーキテクチャを引っ提げて頭角を現してきた米Intel社(以降Intel)は1993年にCPU Pentiumを発表し、また、この頃商用インターネットの普及や米Microsoft社(以降Microsoft)のWindowsの発売などにより、パーソナルユースのコンピュータ市場は急激に拡大していきました。この状況にこれまで自社アーキテクチャでコンピュータを開発していたメーカ各社はIntelのCPUを採用した互換機を次々に開発することになりました。

続いて2001年にIntelはサーバ向けCPU Xeonを発表し、メインフレーム及びUNIXが中心だった企業システムは低価格かつ汎用的なIA(インテルアーキテクチャ)サーバに置き換えが進んでいくこととなります。

しかし、IntelのCPUは複数のOSでの利用を想定していないアーキテクチャになっており、これまでの「仮想化」は適用できないものでした。これに対し、ソフトウェアによる「仮想化」を実現したのが、1999年2月8日に発表された米VMware社のVMware Virtual Platformです。

初期の「x86アーキテクチャ向けのソフトウェア仮想化」(以降x86仮想化)は当時のホストOS(WindowsやLinux)上に仮想レイヤーを稼働させる方式で提供していましたが、ホストOSを経由するためオーバーヘッドが大きく、商用サービスに適用できる性能はありませんでした。そのため、汎用ホストOSを必要とせず、仮想レイヤーを提供できる独自のkernelを持つ「ハイパーバイザ」製品が登場することになりました。

この時期のx86仮想化は、後述する「ハードウェア仮想化支援機能」なしに仮想化をする場合、特定の命令の実行を捉えて動的に置き換える動的命令変換技法を必ず使用します。この技法は、本質的に仮想化可能なアーキテクチャでの仮想機械に比較すると性能に対する何らかのオーバーヘッドを抱えていました。

性能問題を解決する対策として、ハードウェアをエミュレーションするのではなく、ゲストOSに変更を加えて利用することができる特殊なAPIを提供する仮想機械を「準仮想化」と呼び、初期のサーバの仮想化に利用されることとなります。代表的な製品はオープンソースのXen(2.xまで)などがありました。

それに対し、仮想化レイヤーにてCPUの特権命令を変換し、仮想機械上で動作するゲストOSには特別な修正を行わず、そのまま動作させることが可能な仕組みを「完全仮想化(ネイティブ仮想化)」と呼び、当時、準仮想化に対応していなかったWindowsなどのOSも広く動作させることができました。代表的な製品としてはWindows Virtual Server、VMware Server、VMware ESXなどがありました。

### 2.2.3 ソフトウェア仮想化の限界とハードウェアによる仮想化支援機能の登場

前述したとおり、従来の仮想化の問題点はCPUがハードウェアで処理することをソフトウェアで実行するため、仮想化によるオーバーヘッドは無視できないものとなっていたことです。とりわけ、デバイス、OS、アプリケーション間でデータの授受によるI/Oの遅延は満足できるものではありませんでした。それ故に、初期の頃のハイパーバイザを利用した仮想化は、機器が古すぎて限界になったアプリケーションを動作させるために移行したゲストOSや、アプリケーション開発のために検証

用に動作させるといった目的で緩やかに利用され、当時の高スペックで高速に動作するメインフレームやUNIXサーバを置き換えるほどの勢いはありませんでした。

2000年代後半になりIAサーバが市場シェアを伸ばす中、性能に伸び悩んでいたIntelがCPUを64bitマルチコアアーキテクチャへ変えるタイミングで米Advanced Micro Devices社も同時期にハードウェア仮想化支援機能を実装し、仮想化が急激に進むこととなります。これはソフトウェアで処理していた一部の機能 Virtual Machine Monitor(以降VMM)をCPUで処理し、大幅にオーバーヘッドを削減するものでした。

VMMは、端的に言うとOSがユーザ・アプリケーションに対して果たしている役割をゲストOSに対して提供するものです。OSはデバイスやメモリなどの物理リソースを管理し、メモリ空間をプロセス(ユーザ・アプリケーション)ごとに隔離しています。これと同様にVMMはゲストOSごとに物理リソースをエミュレーションし、ゲストOSからの要求を調整し、ゲストOSごとのメモリ空間を隔離しています。

このVMMの処理が高速化することで、ゲストOSの性能は向上し、「ハイパーバイザ」中心の「サーバ仮想化」が受け入れられるようになりました。

#### 2.2.4 「サーバ仮想化」の成熟とクラウドの出現

CPUに実装された仮想化支援機能により、仮想化によるオーバーヘッドを大幅に削減することに成功した各ハイパーバイザは商用での利用へ大きく前進することになり、また、これまで準仮想化の方法でゲストOSを提供していた製品(Xen 3.0以降など)もゲストOSの完全仮想化を実現し、仮想化製品の開発競争が俄かに加熱することになります。

米Google社(以降Google)のCEO Eric Emerson Schmidt氏がSearch Engine Strategies Conferenceでのスピーチ<sup>\*2</sup>の中で「cloud computing」を初めて使ったのはこの頃で、以後私たちの知る「クラウド」という言葉が使われ始めました。

これに続くように、MicrosoftはServerの1つの機能としてCPUの仮想化支援機能に対応したHyper-Vを実装し、同様にオープンソースではLinuxのカーネルの機能に統合する形でKernel-based Virtual Machine(以降KVM)の1.0がリリースされ、これまで先駆をなしてきた製品と並び、仮想化市場の発展を加速させていくこととなります。

2008年、Googleが文字通りのクラウドを意識したPaaSサービスGoogle App Engine(以降GAE)を発表すると、米Amazon社の自社システムにおけるIAサーバのリプレース後の余剰リソースを貸し出す目的から先行して展開していたAmazon Web Services EC2(以降AWS EC2)と並んでクラウドの市場を切り拓きました。IJJも商用としては2010年にIJJ GIO(ジオ)ブランドでクラウドサービスを展開し現在まで開発・提供しています。

ハイパーバイザの性能の課題が解消すると、今度は仮想化製品の操作・管理の難しさに問題が移ります。ハードウェアのサーバと同様にシステムの要素であるネットワークやストレージなどの設定は、IAサーバで緩やかに統一されてきたサーバとは異なり、メーカー、機種ともども別のアーキテクチャを採用しているものが多く、それらを操作する専門の知識が必要でした。また、物理的なリソース間で仮想機械を移動させ、可用性と共に効率性・安定性を向上させる必要がありました。これら従来の物理リソースで個々に実現していたことを、システムを構成する要素として抽象化し、総合的に制御する仕組みとして

\* 2 Google Press Center, 「August 9, 2006 Search Engine Strategies Conference Conversation with Eric Schmidt hosted by Danny Sullivan」(<https://www.google.com/press/podium/ses2006.html>)。

「オーケストレータ」と呼ばれる製品が登場しました。代表的な製品にはVMware vRealize Orchestrator、OpenStack、Apache CloudStackなどがあります。

**2.2.5 マイクロサービス・アーキテクチャとOSレベルの仮想化**  
様々な技術的解決策で課題をクリアしてきたハイパーバイザですが、その技術の恩恵を受けたビジネス環境は年々変化のスピードが増していきました。クラウドというリソースを迅速に展開できる仕組みもできてはきたものの、ソフトウェアを開発する技術者にとっては必要なライブラリ以外のインフラ要素が多く、ビジネスに追従するためには大きな労力が必要になってきました。

この課題を解消するためのソフトウェアの開発手法として、マイクロサービス・アーキテクチャと呼ばれる複数の小さく疎なソフトウェアの集合体でアプリケーションを構成する開発手法が考え出されました。これに必要なリソースはアプリケーションを実行する環境のみという小さなものであったため、OSのすべての機能ではなくその一部を仮想化して提供するコンテナ技術が採用されることになり、コンテナ管理システムという更に新しい仮想化を包含した製品が生まれることになりました。代表的なものにはKubernetes、またその派生であるRed Hat OpenShift Virtualizationなどがあります。

このように、各時代における技術の進歩に伴いユーザの課題感に移り変わり、それに応じて役割を変えて進歩してきたのが仮想化技術です。

## 2.3 技術の選定とサービス開発

技術が課題を解消し、その技術を内包した製品が市場を拡大することで、私たちのサービスは多様化し、また差異を生むこと

ができるのですが、すべての製品が期待するレベルで動作するものでないことはご承知のとおりです。

したがって、新しい製品が提供されるようになったからといって、それをすぐにユーザの利用する環境に適用するということはありません。しかしながら、前節で述べてきたように近年の仮想化技術の進歩は早く、真贋を見極める時間が十分にあるとは言えないため、サービスの要求事項を固めてから検討を始めるよりも、更に早い段階で技術を吟味し開発の方向性を決める要素を確認する必要が出てきました。また、現在のサービスで採用されていない製品に関しても、何らかの技術的な進展などによって、急激に市場が拡大する可能性を持っているため、その製品を取り巻く市場と併せて確認し続けています。

具体的な製品の評価プロセスは大きくは2つで、基本機能の確認と、サービスごとの確認です。前者の基本機能は製品として実装がうたわれている「機能」そのものと、その想定する性能になります。評価する製品にもよりますが、インフラ層であれば分かりやすく物理的な機器などの動作とカタログ値もしくは限界値の挙動を見ますし、仮想化層であれば構成する機器の組み合わせとハイパーバイザの動作と性能などを評価します。ずっと同じ評価をするということではなく、サービス運用の中で得られた知見(主に品質に関わる可用性や完全性など)を加え、徐々に共通の確認事項は増えていきます。後者のサービスごとの確認は、基本的にはサービスの要求事項を基にSLAを満たすための機能面、非機能面を評価することになります。この場合はシステムとして組み上げた場合、つまりユーザに提供する部分と運用管理する部分(維持保守だけでなく、ユーザにリソースを払い出す仕組みなど)を確認します。比較的上位のソフトウェアやアプリケーションとの連携などが主です。

サービスの品質を維持し運営していくにはもう1つの重要な視点があります。新しい製品が出てくるということは、既存もしくは古い世代の製品の寿命が定まるため、これらを採用しているシステムの変更対応を考えなくてはなりません。また後継の製品が今までの仕組みを踏襲するものであれば良いのですが、全く別のアーキテクチャになったり、全く別のライセンス契約になったりしたときに、サービスを継続して提供できるかどうかの見極めが必要になってきます。このような状況へ遅滞なく対処するために製品の特色に注目するのではなく、類似製品と共通に実装されている機能が何であるか、またその性能はどのくらいであるか、といった製品間の相互互換性を把握していることが重要です。これらの観点でも前述の早期に技術を理解・把握することが、市場における競合製品について機能・非機能両面での要求事項を整理しておくために必要になってきます。

最後にサービスで提供する製品として評価するのはコストです。ユーザの期待する機能を満たしていても、利用する目的に合わない費用感であれば採用されることはありません。他社製だけでなく自社製の製品であっても、これらの面で適切でなければ選択することはありません。

このような面で製品を評価し、その時期に確立された技術を取り入れ、用途に応じた基盤をIJでは開発してきました。

## 2.4 IJにおける実例の紹介

### ■ IJ GIOホスティングパッケージサービス

#### ■ IJ GIOコンポーネントサービス ベースサーバVシリーズ Linuxタイプ

IJでは2008年ごろから社内のサービスホスト基盤の設計を見直し、画一的な構成のリソースをプールに集約して、需要に応じてリソースを分割利用する方式にしました。このとき、物理サーバのリソースを分割して利用するための仮想マシンモニタには、Xenを採用しました。このIJ社内での運用実績とノウハウをもとに、2010年にリリースしたIJ GIOホスティング

パッケージサービスとIJ GIOコンポーネントサービスVシリーズ Linuxタイプの基盤でもXenを採用しました。

Xenハイパーバイザは、管理特権ドメインのdom0とユーザドメインのdomUをそれぞれ完全に隔離し、リソース配分とメモリ保護を行います。dom0は特権を持つ管理ドメインとして、ハードウェア管理とXenハイパーバイザの操作を行います。domUはユーザの仮想マシンであり、独立して動作し、Xenハイパーバイザによって他のドメインと隔離されています。このように各ドメインが完全に隔離され、セキュリティと安定性が確保されています。

当時はまだハードウェアによる性能支援が乏しい中、XenではゲストOSがXenに最適化されている場合に準仮想化(Paravirtualization)によって実用的な性能で利用できたこと、ソースコードが公開されていて透明性の高い開発が活発に行われていたことが採用の決め手となりました。

サービスを安定して提供するために、Xenハイパーバイザに対してIJサービスで必要とする改変を加えたり、継続して安定利用するためにバージョンを固定して先行バージョンからパッチをバックポートするほか、ネットワークセキュリティ仕様を定め、仮想サーバから発生するパケット偽造や他の仮想サーバへの攻撃によるセキュリティ脅威の防止策を組み込むなど、これまで培ったノウハウをもとに対応してきました。また、顧客にITリソースを提供するIJ GIOの基盤では、これまでのIJサービスホストの運用ノウハウをベースに、リソースの確保から利用開始、返却まで一連のデリバリを自動化し運用を効率化するためのオーケストレータを独自開発しました。構成情報を一元管理し、連携して設定を書き換える自動制御の仕組みを構築することで、人の手ではとても対応できない膨大なリソースをミスなく、またリソースの配分を計算して公平かつ効率良く利用できました(図-1)。



ライブマイグレーションによって無停止で機器の保守が可能になるなど、仮想化技術の活用を前提に構成を単純化することで、数千台規模のサーバで構成されるサービスであっても十分な品質を確保できました。このとき得られた数々の知見が、後継サービスのIIJ GIOインフラストラクチャーP2 パブリックリソースにも活かされています。

### ■ IIJ GIOコンポーネントサービス ベースサーバVシリーズ Windowsタイプ

IIJ GIOコンポーネントサービスはエンタープライズシステムをターゲットとしており、システムインテグレーションのパーツとして必要な様々なコンポーネントを提供する方針で開発されました。

ユーザの社内IT環境ではWindows Serverのコンポーネント（Active Directoryやファイルサーバ、WSUSなど）が利用されていることが多く、エンタープライズシステムをクラウド上に移行するためにはWindows Serverをクラウド上で利用することが必要です。このため、Windows Serverを安定的に稼

働・提供するための基盤としてHyper-Vを利用した仮想化基盤を別途構築しました。

Microsoftは2009年にWindows Server 2008 R2をリリースしましたが、Windows Server 2008 R2で利用可能なHyper-V 2.0では、1つのストレージ領域(LUN)に複数の仮想マシンを保持した上で複数の仮想化ホストから同時にRead/Writeを行えるクラスター共有ボリューム(CSV)が実装され、仮想マシンのライブマイグレーションも可能となるなど、マルチテナントのサービス提供基盤として必要最低限の機能が利用可能になりました。

仮想マシンのライフサイクル管理やコンポーネントの監視など、基盤運用で必要となる機能はSystem Center製品群により一通り提供されていましたが、GUIからの操作を前提としており、自動化やオーケストレーションのためにはMicrosoftが提供するDynamic Datacenter Tool Kit (DDTK)というフレームワークを使用した開発が必要でした。

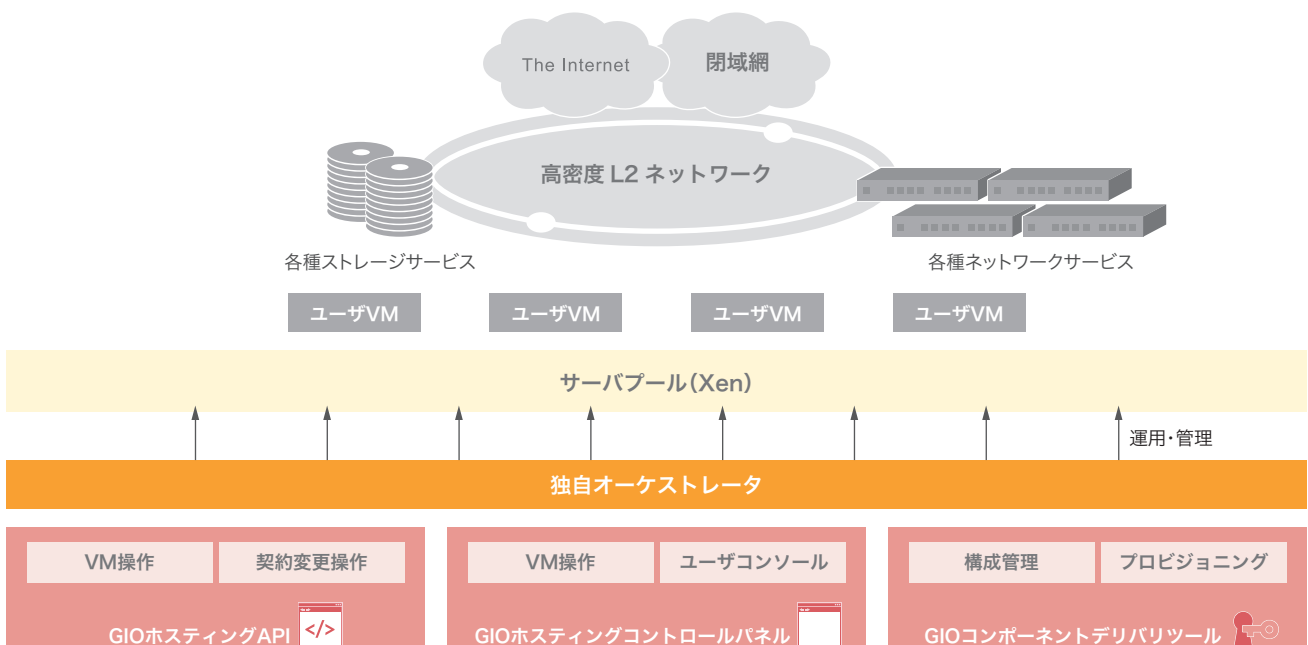


図-1 IIJ GIOホスティングパッケージサービス / IIJ GIOコンポーネントサービス ベースサーバVシリーズ Linuxタイプ

IIJ GIOコンポーネントサービス ベースサーバVシリーズ Windowsタイプの基盤では、IIJ社内でサービスの運用担当者が利用するオーケストレーションツールと、ユーザが仮想マシンの操作を行うためのコントロールパネルを、DDTKを使用して独自に実装しました(図-2)。

その後、Windows Serverの世代が新しくなるにつれて、サービスの運用に便利な機能が数多く実装されました。仮想マシンを稼働させたまま仮想マシンの保存先ストレージを変更できるストレージ ライブマイグレーションもその1つです。

初期の基盤ではこの機能が利用できないため独自に移行ツール(仮想マシンの停止が必要だが、作業開始後のロールバックにも対応した独自ツール)を実装していましたが、Windows Server 2012以降のサービス提供基盤ではストレージライ

ブマイグレーションを利用することで、よりユーザへの影響を低減しつつサービスのメンテナンスや障害対応を実施できるようになりました。

管理ツールとしては引き続きSystem Centerを利用しつつ、サービスプロバイダ向けのREST APIを提供するService Provider Foundation(SPF)を利用することで、開発工数を削減しつつIIJとして必要なオーケストレーション機能を実装しました。

当初はWindows Server向けのサービス提供基盤として開発されたHyper-Vベースの基盤ですが、サポートやライセンスの観点で他のOSについてもHyper-Vベースの基盤上で提供されるなど、時期に応じて様々な利用がなされてきました。

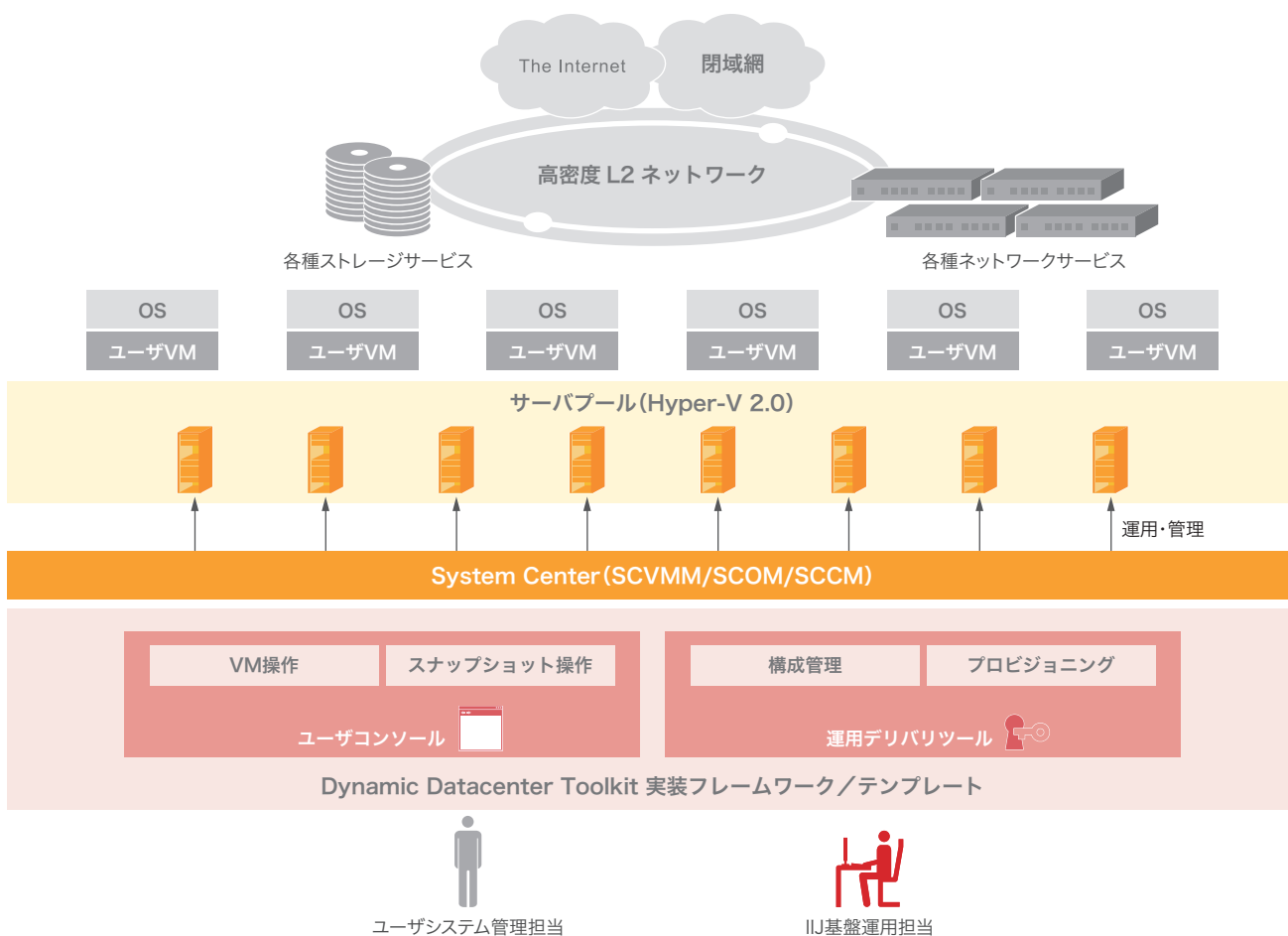


図-2 IIJ GIOコンポーネントサービス ベースサーバVシリーズ Windowsタイプ

数百台規模でHyper-Vの仮想化ホストが稼働し、Windows ServerやHyper-Vの進化に合わせてより安定したサービスが提供できるよう細かなアップデートを続けてきましたが、後継となるIIJ GIO P2の各サービスが提供されたことにより2023年9月にサービスの提供を終了しました。

### ■ IIJ GIOインフラストラクチャーP2 パブリックリソース

IIJでは2015年に、自社開発したSoftware Defined Networking (SDN)を活用して更にスケールできるIIJ GIOインフラストラクチャーP2パブリックリソースをリリースしました。仮想マシンモニタにはKVMを、仮想マシンエミュレータにQEMUを採用しました。初期のIIJ GIOをリリースした2010年からの5年間は、世の中ではサーバ仮想化を取り巻く各種技術が洗練され普及した時期でもありました。IIJ社内の仮想サーバを提供するサービスホスト基盤でも、世間の流行に応じてKVM+QEMUへの乗り換えを進めてきました。

KVMはLinuxカーネルと緊密に統合され、Linuxの機能やセキュリティアップデートを直接利用できます。Intel VT-xなどの

ハードウェアによる仮想化支援機能を活用でき、I/OやCPUリソースを効率良く利用できます。仮想マシンは独立したQEMUプロセスとして実行され、他の仮想マシンからの隔離が強化されています。

KVMとQEMUの組み合わせは設定や管理の難易度が高く、特に顧客への提供を前提にした大規模な環境では、高度な専門知識が求められます。IIJ社内でKVM+QEMUによる仮想化環境の運用実績がありノウハウがあったこと、ハードウェア仮想化支援の進化により完全仮想化(Full Virtualization)でも実用的な性能で動作し、ゲストOSで準仮想化の対応が不要でSEIL(ザイル)/x86<sup>\*3</sup>やWindowsの提供が可能であったことが、採用の決め手になりました。

サービスでの提供に当たっては、Linuxカーネルと緊密に統合されたKVMの特性から、IIJで独自性のある改変は積極的には行わない方針としました。独自開発したオーケストレータを自社開発のSDNに対応させるなど必要な機能追加を施し、先駆サービスのノウハウが詰まった開発資産を活用しています(図-3)。

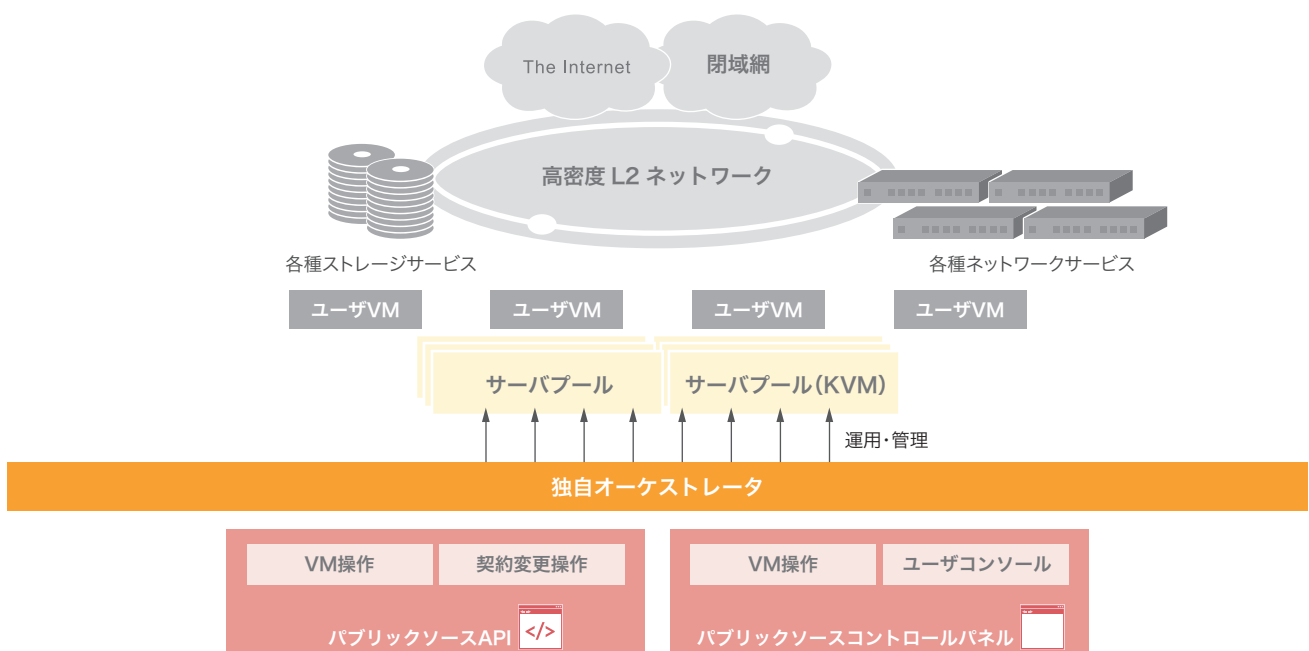


図-3 IIJ GIOインフラストラクチャーP2 パブリックリソース

\* 3 SEIL/x86はIIJが開発したx86アーキテクチャベースのプラットフォーム上で動作する高機能ソフトウェアルータ。

ライブマイグレーションの積極的な利用など、これまで実現した運用の方式を踏襲しながら、更にスケールした規模であっても高い品質を安定して維持できるサービス運用を継続しています。

- IIJ GIO仮想化プラットフォーム VWシリーズ
  - IIJ GIOインフラストラクチャーP2 プライベートリソース
  - IIJ GIOインフラストラクチャーP2 Gen.2
- デディケイテッドサーバリソース

IIJでは2012年より企業向けのホステッドプライベートクラウドとして、VMware vSphere(以降vSphere)をハイパーバイザに採用したサービスを展開しています。一般的なクラウドサービスでは、仮想マシンのスペックはクラウドサービス事業者が指定したインスタンスモデル(vCPU数、メモリ容量、OS種別など)でユーザのシステムを構成する必要があり、ピーク設計に慣れていないユーザには適切なメニューを選択することが難しい面がありました。本サービスでは占有されたハイ

パーバイザを直接ユーザが操作できることで、仮想マシンの設計や利用するOSの選択を自由に行うことができ、ユーザの考えるリソース配分でシステムを構成することが可能になります(図-4)。

vSphereは利用しているユーザが多かったこともさることながら、適用できるハードウェアの種類も多く、事業者として提供しやすい製品でした。また、技術的にも、ユーザ間の分離はネットワークではVLAN、ストレージはデータストア向けに論理的にディスクを切り出す機能など、一般的に製品が実装している機能で充足できるため、特殊な開発(特別なプロトコルを開発するなど)はなく規模に合わせて開発することができました。

したがって、オンプレミスでvSphereを利用してプライベートクラウドを構築していたユーザが、大きな変更なしでクラウドサービスにスムーズに移行できる基盤として、3世代、10数年に渡って提供しているサービスです。

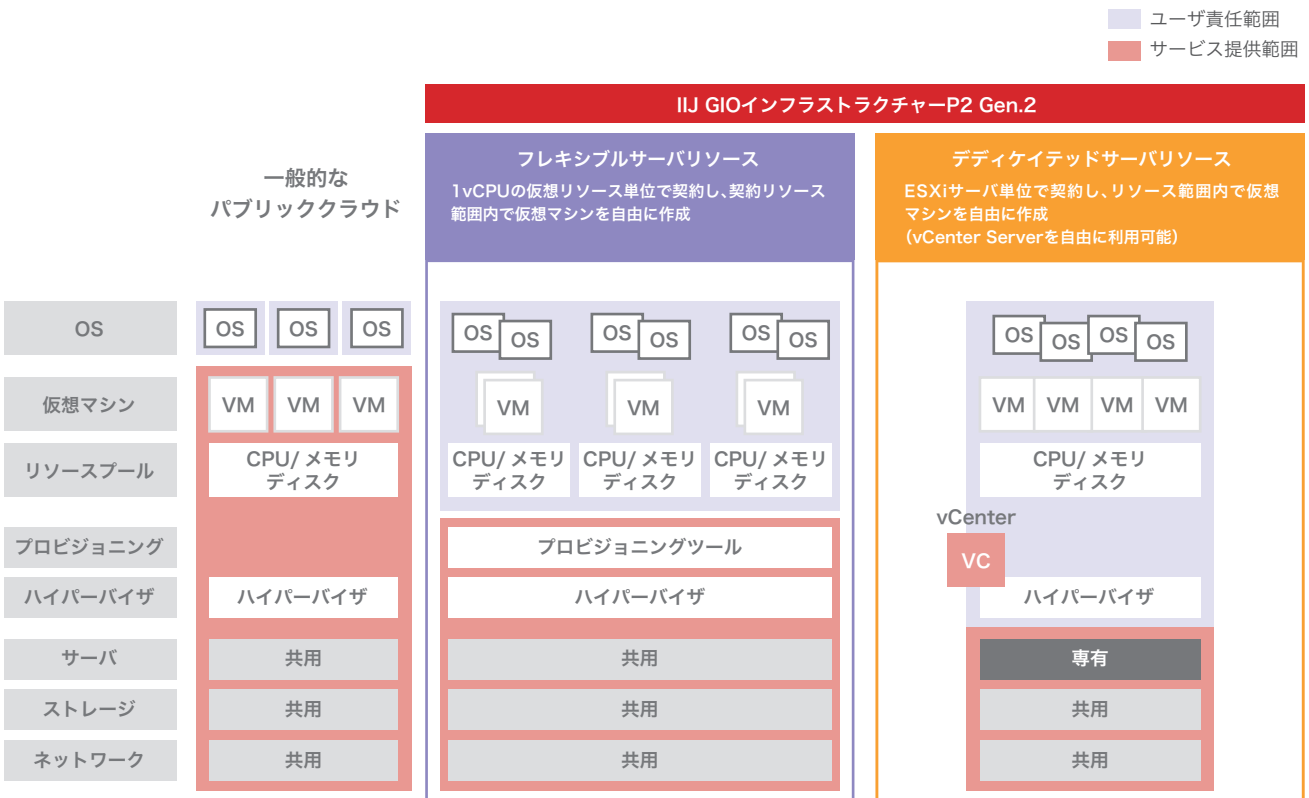


図-4 サービスの責任分界点

## □ IJ GIOインフラストラクチャーP2 Gen.2 フレキシブルサーバリソース

IJでは2021年に第3世代のパブリックリソースサービスである、IJ GIOインフラストラクチャーP2 Gen.2 フレキシブルサーバリソース(以降FSR)の提供を開始しました。前述の占有されたハイパーバイザを直接ユーザが操作できるサービスでは、ユーザがvSphereを直接操作できることで自由度の高いシステム構築が可能になった反面、仮想化基盤のバージョンアップやメンテナンスなどをユーザ自身が対応する必要があり、運用面で課題がありました。

FSRではVMware Cloud Director(VCD)を採用することで、CPU、メモリといった個々のリソースを抽象化しユーザへリソースプールとして見せることで、vSphereを操作する場合と同様にリソースを切り分けシステムを構築できる仕組みを提供しています。ハイパーバイザ層はユーザから隠蔽しますが、リソース制御の権限はvSphere並みにユーザが利用でき、ハイパーバイザやハードウェアのライフサイクル管理をIJが担当し、前述の課題を解決しています。

本基盤の設計はユーザへのメリットだけでなく、ユーザ環境(ソフトウェア中心)と事業者の運用環境(ハードウェア)を完全に分離しており、これまで基盤維持のために重要ではあるも

のユーザ都合で行いにくかったメンテナンスなどもIJが積極的に対応できるため、IJにとってもより安定したサービス基盤を実現しています。また、近年の様々なビジネス要求に応えられる継続的な開発・変更が行える基盤となりました。

## 2.5 まとめ

仮想化技術について、その歴史や変遷から、IJでのこれまでの実例について解説しました。今世の中の動向として、仮想化技術についてその選択を迫られている時期かと思えます。本稿が、最適な技術を選択、駆使していく、その一助になれば幸いです。IJでは、仮想化技術の導入と運用において積極的な取り組みを行い、業務の効率化とコスト削減を実現しています。また、もう1つの側面として、記憶に新しいだけでも半導体不足やオープンソースの脆弱性が報道されるなど、サプライチェーンに対する潜在的な脅威についても考慮する必要があります。企業買収などにより従来どおり製品が提供されない状況が発生した場合でも、事業者としてユーザへ安定したサービスを提供するために多くの選択肢を準備するべく、仮想化技術の進展、製品を追い続けています。

今後も最新の技術動向を注視し、仮想化技術の進化に対応、活用していくことで、ユーザに対して更なる価値を提供していきます。

執筆者:

2.1 はじめに/2.2 仮想化技術の歴史/2.3 技術の選定とサービス開発  
**田中 薫** (たなか かおる)

IJ クラウド本部 技術開発室 テクニカルマネジャー。

2.4 IJにおける実例の紹介

**山本 岳洋** (やまもと たけひろ)

IJ クラウド本部 UAG推進室 室長。

**高橋 靖英** (たかはし やすひで)

IJ クラウド本部 クラウドサービス2部 副部長。

**高井 一輝** (たかい かずき)

IJ クラウド本部 技術開発室 テクニカルマネジャー。

2.5 まとめ

**木村 真理** (きむら しんり)

IJ クラウド本部 副本部長。



Internet Initiative Japan

### 株式会社インターネットイニシアティブ(IIJ)について

IIJは、1992年、インターネットの研究開発活動に関わっていた技術者が中心となり、日本でインターネットを本格的に普及させようという構想を持って設立されました。

現在は、国内最大級のインターネットバックボーンを運用し、インターネットの基盤を担うと共に、官公庁や金融機関をはじめとしたハイエンドのビジネスユーザに、インターネット接続やシステムインテグレーション、アウトソーシングサービスなど、高品質なシステム環境をトータルに提供しています。

また、サービス開発やインターネットバックボーンの運用を通して蓄積した知見を積極的に発信し、社会基盤としてのインターネットの発展に尽力しています。

本書の著作権は、当社に帰属し、日本の著作権法及び国際条約により保護されています。本書の一部あるいは全部について、著作権者からの許諾を得ずに、いかなる方法においても無断で複製、翻案、公衆送信等することは禁じられています。当社は、本書の内容につき細心の注意を払っていますが、本書に記載されている情報の正確性、有用性につき保証するものではありません。

本冊子の情報は2024年9月時点のものです。

©Internet Initiative Japan Inc. All rights reserved.  
IIJ-MKTG019-0064

### 株式会社インターネットイニシアティブ

〒102-0071 東京都千代田区富士見2-10-2 飯田橋グラン・ブルーム  
E-mail: info@ij.ad.jp URL: <https://www.ij.ad.jp>